

I 緒 論

ビール醸造用のオオムギは、その工業原料としての性格から、品質面での評価が重要視される。ビール作りが安定した近代産業に成長した19世紀末ころから製麦・醸造業界では、ビール原料として望ましいオオムギは高い発芽能力を持ち、製麦・糖化・発酵の過程で必要な酵素、糖、蛋白質をバランス良く供給するものであるとされてきた (Lein 1964)。1930年代には、作物育種家に対する品質のガイドラインを示すことを狙いとして、オオムギ品種と麦芽形質に関する基礎的な研究が開始された。Bishop (1930) は、醸造用オオムギの品質を左右する要因として、蛋白含有率の低さが有利に働くことを明らかにした。また、麦芽エキスの評価法 (Bishop and Marx 1934, Bishop 1934, Bendelow and Meredith 1955)、ジアスターゼ力の測定法の改良 (Meredith *et al.* 1942) に関する研究が行われた。第2次大戦後、ヨーロッパではEBC (European Brewery Convention) が結成され、醸造用オオムギの分析法や評価基準の統一が図られるようになった。現在わが国で用いられている品質評価基準の原型は、ここから派生したものである。1950年代からは小規模製麦システムに関する研究が進み (Lein 1964, Sparrow 1970)、育種試験の多くの材料について数十グラムから数百グラムの少量サンプルでも麦芽品質を評価することが可能となった (Lekes 1964, 武田ら 1981)。わが国では、1968年からビールオオムギの育成地を中心とする関係機関によって、「ビール大麦育成系統合同比較試験」制度が設けられ、Table 1-1 に示した品質評価基準にしたがって育種が進められている (佐々木 1990)。

主要穀類において、蛋白質は澱粉と並んで主要な種子貯蔵物質であり、穀粒蛋白質の量と性状は品質を大きく左右する特性となっている。

米の蛋白含有率は、アミロース含有率とともに食味に大きな影響を及ぼし、高蛋白米では食味が劣るとした報告が多い (石間ら1974, 山下・藤本 1974, 江幡ら 1986)。コムギの硬軟質性はグルテン含有率によって左右され、グルテンはコムギの種子貯蔵蛋白質中の85%を占めるグリアジンとグルテニンで形成されるため、蛋白含有率はコムギの硬軟質性と密接な関係にある (小田・大越 1990)。ビール醸造用のオオムギにおいても、種子貯蔵蛋白質は品質に大きな影響を与える。オオムギの種子貯蔵蛋白質の約70%は胚乳部、約20%は糊粉層に存在する (Wallace and Lance 1988)。貯蔵形態としては、細胞内のプロテインボディの中に濃縮された状態で存在するが (田中 1991)、高蛋白オオムギには澱粉粒子を包み込むような漆喰状のプロテインマトリックスが観察される (早乙女ら 1991)。貯蔵蛋白質の溶媒分画による分類では、アルコール可溶性のホルデインが最も多くの割合を占める (Wallace and Lance 1988)。ホルデインはオオムギ粒の貯蔵澱粉と密接に結びついており、麦芽の製造過程で全蛋白質に占める割合は小さくなるが、麦芽中に残ったホルデインは仕込工程において澱粉の糖化効率を低下させる (Slack *et al.* 1979)。また、ビール製品の濁りの58~72%は蛋白質であり、その65%程度はホルデインであるとされている (Burger *et al.* 1979)。

原料オオムギの蛋白含有率と麦芽エキスとの間に負の相関が存在することについては多くの報告がある (Anderson *et al.* 1941, Hartog and Lambert 1953, Foster *et al.* 1967, Ullrich *et al.* 1975, Lu and Ding 1991)。わが国でも、倉井ら (1987) が栃木県内の各地から収集した醸造用オオムギ品種ミサトゴールドンについて原麦の蛋白含有率と麦芽エキスとの関係を調査し、両者が高い負の相関にあることを認めた。ビール醸造用に澱粉質副原料を多用

Table 1-1 Criteria of malting quality for barley breeding in Japan

Character	Unit	Weight	Calculation formula ¹⁾ for scoring
Malt extract	%	2	(value - 78) × 2
Extract yield	%	1	(value - 70) × 1
Total nitrogen	%	1	-(value - 2.2) × 1/0.08
Soluble nitrogen	%	1	(value - 0.68) × 1/0.02
Kohlbach index	%	1	(value - 35) × 1/2
Diastatic power	WK/TN	2	(value - 100) × 1/17
Apparent final attenuation	%	1	(value - 78) × 1

Quality index = Σ (score × weight) × 10/9.

¹⁾ : Maximum score is 10.

するため酵素活性の強い六条オオムギを使用するアメリカに対し、ヨーロッパや日本では二条オオムギの麦芽を主体にビール醸造を行っている(天羽・吉田 1989)。わが国では低蛋白・高エキスに対する要望が強く、原料オオムギの適正蛋白含有率の上限は11.5%とされている。

穀粒の蛋白含有率は、栽培環境によって大きく変動する。窒素の増肥は子実収量を高めるが、同時に蛋白含有率も高くする(Bole and Pittman 1980, Clancy *et al.* 1991)。Giese *et al.* (1983)はオオムギの水耕栽培による実験で、穀粒のホルデン量は開花10日以降から上昇し、窒素レベルが1.0g/lでは増肥による増加率が大きいことを明らかにした。コムギにおいても窒素増肥は子実収量だけでなく蛋白含有率も同時に上昇させるとした報告が多い(下野1986)。また、黒ボク土に作付けされたオオムギは、灰色低地土で作付けされたものより蛋白含有率が高くなる(谷内・田谷 1987)。Beard (1961)は遅い時期に播種したオオムギは蛋白含有率が高くなるとし、Zubriski *et al.* (1970)も4年間にわたる試験で、遅播きしたオオムギは早播きしたものに比べて蛋白含有率が高いとした。McNeal *et al.* (1968)は適度に灌水したコムギでは乾燥条件に比べて茎葉部、穀粒とも窒素含有率が高いことを認めた。

オオムギの蛋白含有率が窒素施肥量に敏感に反応することから、生産地では高蛋白化によるビールオオムギの品質低下を防止するため、栽培上の指針として追肥を行わないよう指導している。しかしながら、追肥の抑制は栽培上の自由度を大きく制限することになるので、収量的な観点からは望ましい方策とはいえない。高蛋白ビール麦を解消する対策としては、低蛋白品種の育成という育種対応が重要である。

オオムギの品質育種においては、食用、飼料用の用途として高蛋白化あるいは高リジン化方向への研究は多い(Munk *et al.* 1970, Karlsson 1977, Hejgaard and Boisen 1980, 武田 1987)。代表的な高蛋白品種Hiprolyでは、第7染色体上に座乗するlys遺伝子(Karlsson 1975)がホルデンの蓄積を抑え、塩可溶性蛋白質を増加させることが知られている(Balasaraswathi *et al.* 1984)。わが国でも裸麦の高蛋白育種が行われ(Seko and Kato 1981)、最近では高蛋白品種が普及に移されている(伊藤ら 1992)。これに対して、低蛋白方向への育種対応に関する研究は少なく、国内では低蛋白育種に関する報告は見いだされない。Piper and Rasmusson (1984)の低蛋白と中間蛋白オオムギの4組合せから生じたF₅及びF₆系統を用いた実験では、蛋白含有率の遺伝率は組合せによって大きな差

がみられた。オオムギの蛋白含有率あるいは麦芽全窒素の遺伝率についてこの他にも多くの報告があるが (Rasmusson and Glass 1965, Foster *et al.* 1967, Rutger *et al.* 1967, Baker *et al.* 1968, 関口ら 1988), 必ずしも一定の結論は得られていない。ヨーロッパ各国では醸造用オオムギの育種プログラムの中で低蛋白方向への選抜が行われたが, 効果はあがっていない。その理由として蛋白含有率の遺伝率が低いことがあげられている (Reiner *et al.* 1975)。

穀粒の蛋白含有率は, 登熟期における穀粒への乾物と窒素との蓄積割合で定まるため, オオムギ (Corke *et al.* 1989) 及びコムギ (Cox *et al.* 1985) について, 穀粒乾物蓄積量の多い品種が低蛋白になるという報告がある。

McMullan *et al.* (1988) は, 開花時に乾物蓄積の多いコムギ品種が穀粒乾物重も大きく, そのために蛋白含有率が低下するとした。植物の子実に集積する窒素の起源は, 栄養体からの再移動と子実形成期間に獲得された窒素との2通りがある。マメ科植物では前者の割合が37~58%であるが, イネ, ムギではこの比率がより高い (米山 1987)。折谷 (1984) は, 放射性標識窒

素を水稻に施用した実験から, 穂肥に由来する葉の窒素は, 基肥に由来するものに比べて穂への転流割合が大きいとした。コムギでは, 穀粒に蓄積される窒素は栄養体器官からの転流が大きく寄与する (Dalling *et al.* 1976, Yoneyama 1983)。栄養体からの窒素の転流には同化や代謝変換されたアミノ酸が直ちに篩管に移行するルートと, はじめに蛋白質などの高分子にとりこまれ, それが分解して移行するルートとがあり, 栄養体器官の蛋白分解酵素は窒素転流のキー酵素であるとも言われている (米山 1987)。イネ (Peretz *et al.* 1973) 及びコムギ (Rao and Croy 1972, Dalling *et al.* 1976) では, 栄養体器官のプロテアーゼ活性が高い品種は穀粒の窒素含有率が高いという報告がある。

1975年にアメリカで育成されたビール用六条オオムギ品種 Karl (Wesenberg *et al.* 1976) は, 多様な栽培条件下で他の品種よりも低い蛋白含有率を示すことが知られている (Burger *et al.* 1979, Peterson *et al.* 1987) が, 低蛋白性は収量の高さに起因するものではない

(Burger *et al.* 1979)。Karlはオオムギ種子貯蔵蛋白質中に最も多く含まれるホルデンインが他

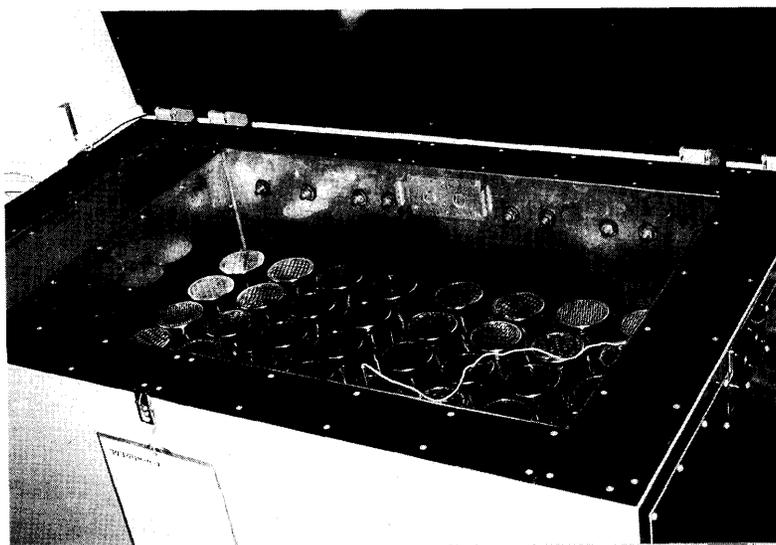


Fig. 1-1. The micro malting equipment for barley breeding.

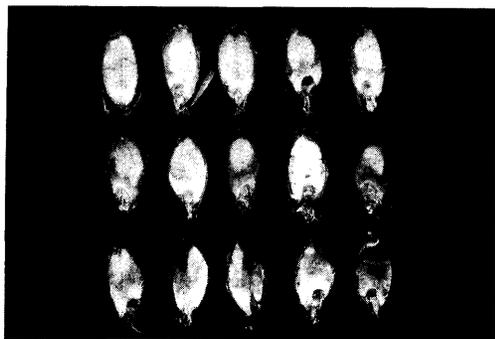


Fig. 1-2. Calcofluor-stained longitudinally cut half grains of barley. From the upper to the lower : grains during steeping, grains 1-2 days after steeping and grains 3-5 days after steeping.

の品種に比べて少ない。その理由として、ホルデインのmRNAの転写効率またはmRNAの分解速度の差が関係していると考えられている

(Peterson *et al.* 1987)。しかしながら、窒素転流の観点からのKarlの特性を解析した報告は見られない。

本研究は、低蛋白・高品質の醸造用オオムギ系統を育成し、その育種の有用性を明らかにする目的で行った。まず、オオムギの蛋白含有率と麦芽品質の変動を明らかにするため、品種、年次、栽培法を要因とした穀粒形質及び麦芽形質に関する分散分析を行い、形質間相関を求めた。また、低蛋白の六条オオムギ Karlを材料として、窒素転流の観点から低蛋白に関連する特性を解明した。Karlを交配親とした組合せから低蛋白の二条オオムギ系統の選抜を行い、選抜された系統についてKarlとの窒素蓄積特性及び種子貯蔵蛋白質の溶媒画分を比較した。さらに、選抜系統の育種の有用性を明らかにするため、それを交配親とした組合せのF₄世代の分布から、蛋白含有率の遺伝率を求めた。

その結果、醸造用オオムギの麦芽品質は遺伝的要因に強く支配されていること、蛋白含有率は麦芽品質に大きな影響を及ぼすが、わが国の栽培品種では蛋白含有率の品種間差は極めて小さいことが明らかになった。Karlについては、登熟終期の窒素蓄積量が少なく、登熟中の葉身

窒素含有率の減少程度が小さいことを明らかにすることができた。また、Karlを交配親とした組合せから、栽培品種に比べて蛋白含有率が平均2.4%低い二条オオムギ系統を育成した。この系統は、登熟期後半の窒素蓄積がKarlより大きく、蛋白分画上的特性もKarlと栽培品種との中間的なものであることがわかった。この二条オオムギ系統を交配親として用いたF₄世代の系統は、他の組合せに比べて蛋白含有率が低く、遺伝率も高いことから、低蛋白・高品質の醸造用オオムギ育種に有効に利用できることを明らかにした。

本研究は栃木県農業試験場栃木分場において、農林水産省指定試験事業「ビール麦醸造用品質改善」の中で行ったものである。本研究の成果は逐次、日本育種学会誌（佐々木ら1992b）、栃木県農業試験場研究報告（佐々木ら1991, 1992a）、日本作物学会紀事（印刷中）に投稿してきたが、未発表のものも含め、ここに成績を取りまとめた。本研究のデータはすべて栃木県農業試験場栃木分場の試験圃場及び麦芽分析での結果である。

II 醸造用二条オオムギの麦芽品質

1 品種, 栽培条件及び年次間の変動

育種試験では, 長年にわたって系統・品種の評価に関する有益な情報が蓄積されるため, 多くの作物でデータベースが利用されている(大塚 1980, 佐々木・吉田 1983, Yoshida and Sasaki 1983, 奥津・佐々木 1984). ビール麦芽品質の環境変動については, 関口ら(1983)が外国から導入した11品種とはるな二条を北見, 栃木, 福岡の3カ所で栽培し, 可溶性窒素, コールバッハ数, ジアスターゼ力, 最終発酵度が栽培地間で高い相関を示すことを明らかにした. しかし, わが国の栽培品種の年次間と品種間の変動を比較した報告は見られない. 本節ではビール麦育種試験における品質分析データと栽培試験データをパーソナルコンピュータ上でデータベース化し, 蓄積されたデータを利用して麦芽品質の品種間, 栽培条件間及び年次間の変動に関する解析を行った.

材料及び方法

カード型データベースシステムThe CARD3+を用い, NEC製のパーソナルコンピュータPC-9801上でビール麦育種試験成績の一部についてデータベースを構築した. データの範囲は1981年産から1991年産までの栃木県農業試験場栃木分場産11ヶ年分の品種比較試験, 系統比較試験など250g製麦による分析の供試材料で, 入力項目は試験条件, 栽培試験データ, 品質分析データからなる.

麦芽品質の変動解析にあたっては, データベースに蓄積されたデータから, 登熟日数(出穂期-成熟期)と粒あたり窒素量(千粒重×蛋白含有率(%) / 625)を算出して解析項目に加えた. 分散分析は栽培条件と試験年度が揃った品種群を取り上げ, 品種, 栽培条件, 試験年度

を要因とする3元配置分散分析を行った. 供試品種の関係で, 1981年産から1985年産まではあまぎ二条, はるな二条, ニューゴールデン, アズマゴールデンの4品種, 1986~1989年産及び1991年産の5か年についてはあまぎ二条, はるな二条, ミサトゴールデン, ミカモゴールデン, きぬゆたか, なす二条の6品種を解析した. 各平均値間の有意性検定の計算は, 多重比較プログラム(佐々木ら 1984)を使用した.

結果

穀粒形質6形質と麦芽形質13形質の分散分析結果をTable 2-1に示した. 1981~1985年産では容積重と水感性(高水分条件下における発芽勢の低下の程度)を除く17形質で品種間に有意差が認められた. 栽培法別では浸麦時間, 糖化時間, ろ過時間, ジアスターゼ力(WK/TN)を除く15形質で, 年度別ではすべての形質で有意差が認められた. F値の大きさを比較すると, 千粒重, 浸麦時間, 糖化時間, 麦芽エキス, エキス収量, 可溶性窒素, コールバッハ数(麦芽全窒素に対する可溶性窒素の割合), ジアスターゼ力(WK, WK/TN), 最終発酵度, 評点は品種間差が最も大きく, 蛋白含有率, 粒あたり窒素量, 水感性, 麦芽収量率, ろ過時間, 麦芽全窒素はいずれも年次間差が最も大きかった. 容積重と麦汁色度は栽培法間の差が最も大きかったが, 主効果のF値は栽培法×年次の交互作用に比べてあまり大きくなかった. 最終発酵度と評点は品種×栽培法の交互作用が, また浸麦時間, ろ過時間, 最終発酵度の3形質は品種×年次の交互作用がそれぞれ有意と認められたが, いずれも主効果に比べるとF値は小さかった. これに対して, 栽培法×年次の交互作用は糖化時間, ろ過時間, ジアスターゼ力(WK/TN)以外の16形質で有意差が認められ, 蛋白含有率と麦芽全窒素ではF値が比較的大きかった.

1986~1991年産の分散分析では, 千粒重, 蛋

栃木県農業試験場研究報告第41号

白含有率, 粒あたり窒素量, 容積重, 浸麦時間, 糖化時間, 麦汁色度, 麦芽エキス, エキス収量, ジアスターゼ力 (WK, WK/TN), 最終発酵度, 評点の13形質で品種間に有意差が認められた. 栽培法間では水感性, ろ過時間, コールバッハ数, ジアスターゼ力 (WK/TN), 最終発酵度を除く14形質で, 年次別ではすべての形質で1%水準の有意差が認められた. 1981~1985年産の分散分析結果とは異なり, 品種間のF値が要因中で最大となった形質は全く見られなかつ

た. 容積重, 千粒重, 穀粒蛋白含有率, 糖化時間, 麦芽エキス, 麦芽全窒素, 可溶性窒素, ジアスターゼ力 (WK) の8形質では栽培法間のF値が最も大きく, その他の形質については年次間のF値が最も大きかった. 品種×栽培法及び品種×年次の交互作用が有意となった形質は少なく, 交互作用のF値はいずれも品種の主効果に比べて極めて小さかった. 栽培法×年次の交互作用は水感性, 糖化時間, ろ過時間, 麦汁色度, 可溶性窒素, ジアスターゼ力 (WK, WK/TN),

Table 2-1 F values of variance analysis in grain and malting characters
a) 1981 ~ 1985

Character	Source of variance					
	Cultivar (A)	Culti- vation(B)	Year (C)	(Interaction)		
				A*B	A*C	B*C
1000 grain weight	100.9	56.3	99.5	N.S.	N.S.	16.4
Protein percentage	11.7	60.7	72.3	N.S.	N.S.	19.3
Nitrogen content per grain	56.4	12.0	122.1	N.S.	N.S.	15.1
Liter weight	N.S.	5.5	4.2	N.S.	N.S.	3.0
Water sensitivity	N.S.	6.0	15.7	N.S.	N.S.	3.0
Steeping period	85.8	N.S.	55.3	N.S.	3.0	3.5
Malt yield	6.1	17.0	21.5	N.S.	N.S.	10.2
Mashing period	20.7	N.S.	15.6	N.S.	N.S.	N.S.
Filtration time	30.8	N.S.	43.7	N.S.	3.9	N.S.
Wort color	6.6	13.0	7.9	N.S.	N.S.	4.8
Malt extract	682.9	109.1	25.3	N.S.	N.S.	13.9
Extract yield	205.5	85.3	17.4	N.S.	N.S.	8.3
Total nitrogen (TN)	14.2	57.2	80.8	N.S.	N.S.	18.1
Soluble nitrogen	43.5	8.2	30.7	N.S.	N.S.	5.9
Kohlbach index	124.8	29.4	10.2	N.S.	N.S.	7.7
Diastatic power (WK)	112.7	25.7	28.3	N.S.	N.S.	4.7
Diastatic power(WK/TN)	245.5	N.S.	116.0	N.S.	N.S.	N.S.
Apparent final attenuation	511.8	14.7	96.3	5.1	7.3	9.2
Quality index	467.9	31.3	14.5	4.2	N.S.	6.9

Figures in the table show the F value which is significant at the 0.01 level.

醸造用二条オオムギの麦芽品質

最終発酵度を除く形質で有意となり、F値もエキス収量以外は主効果に比べて無視できない大きさであった。

品種ごとの形質の比較をTable 2-2に示した。1981～1985年産では、ニューゴールドデンとアズマゴールドデンの千粒重と粒あたり窒素量があまぎ二条、はるな二条より大きく、麦芽収量率もアズマゴールドデンがはるな二条に比べて有意に大きかった。あまぎ二条、はるな二条は糖化時間、ろ過時間、麦芽エキス、エキス収量、可溶

性窒素、コールバツハ数、ジアスターゼ力(WK,WK/TN)及び評点の9形質でニューゴールドデン、アズマゴールドデンよりも明らかに良好な値を示した。麦汁色度と最終発酵度はアズマゴールドデンが他の3品種より劣った。また、浸麦時間はニューゴールドデンが他の3品種より8時間以上長かった。あまぎ二条ははるな二条に比べて浸麦時間が短く、麦芽エキス、エキス収量、ジアスターゼ力(WK,WK/TN)、評点が低かった。両品種の間には、可溶性窒素、最終発酵度

Table 2-1 (continued)

b) 1986 ~ 1991

Character	Source of variance					
	Cultivar (A)	Culti- vation(B)	Year (C)	(Interaction)		
				A*B	A*C	B*C
1000 grain weight	21.8	112.5	36.5	N.S.	N.S.	8.1
Protein percentage	5.1	144.7	36.2	N.S.	N.S.	43.5
Nitrogen content per grain	10.8	20.0	56.4	N.S.	4.0	23.6
Liter weight	26.8	176.4	67.2	3.8	4.5	17.4
Water sensitivity	N.S.	N.S.	5.6	N.S.	N.S.	N.S.
Steeping period	5.8	4.0	72.2	N.S.	N.S.	6.0
Malt yield	N.S.	8.3	107.0	N.S.	N.S.	36.7
Mashing period	7.5	17.9	8.6	N.S.	N.S.	N.S.
Filtration time	N.S.	N.S.	10.4	N.S.	N.S.	N.S.
Wort color	5.8	11.4	16.0	N.S.	N.S.	N.S.
Malt extract	179.3	352.4	185.7	N.S.	4.9	55.9
Extract yield	76.8	231.4	277.9	N.S.	3.4	23.3
Total nitrogen (TN)	N.S.	54.7	36.0	N.S.	N.S.	19.0
Soluble nitrogen	N.S.	46.4	20.1	N.S.	N.S.	N.S.
Kohlbach index	N.S.	N.S.	15.8	N.S.	N.S.	7.0
Diastatic power (WK)	20.6	69.1	20.5	N.S.	N.S.	11.9
Diastatic power(WK/TN)	9.7	N.S.	16.5	N.S.	N.S.	N.S.
Apparent final attenuation	10.7	N.S.	97.6	N.S.	N.S.	N.S.
Quality index	25.7	29.7	60.3	N.S.	N.S.	17.2

Figures in the table show the F value which are significant at the 0.01 level.

Table 2-2 Varietal differences of grain and malting characters

Cultivar	1000 grain weight (g)	Protein percentage (%)	Nitrogen content (mg/grain)	Liter weight (g)	Steeping period (h)	Malt yield (%)	Washing period (min)	Filtration time (min)	Wort color
1981~1985									
Amagi Nijo	38.6 ^{c1)}	10.6 ^c	0.65 ^c	686	51.5 ^c	91.1 ^b	14.6 ^c	9.1 ^c	3.37 ^b _c
Haruna Nijo	39.7 ^d	11.2 ^a	0.71 ^b	679	55.9 ^b	90.8 ^c	13.0 ^c	8.8 ^c	3.32 ^c
New Golden	44.6 ^a	11.1 ^a _b	0.79 ^a	689	64.2 ^a	91.1 ^b	16.8 ^b	11.3 ^b	3.41 ^b
Azuma Golden	41.9 ^b	10.9 ^b _c	0.73 ^b	684	55.0 ^b	91.4 ^a	19.5 ^a	15.8 ^a	3.65 ^a
1986~1991									
Amagi Nijo	37.2 ^b	11.2 ^a	0.65 ^b	669 ^b _c	48.9 ^c	90.9	16.4 ^b _c	12.3	3.88 ^b _c
Haruna Nijo	37.5 ^b	11.1 ^a	0.66 ^b	668 ^c	53.7 ^a	91.0	15.5 ^c	11.0	4.00 ^a _b
Kinyutaka	37.8 ^b	10.4 ^b	0.62 ^c	688 ^a	53.1 ^a _b	91.1	19.7 ^a	12.1	4.30 ^a
Nasu Nijo	37.1 ^b	10.8 ^a _b	0.62 ^c	675 ^b	51.5 ^c	91.3	15.9 ^c	13.1	3.53 ^c
Misato Golden	41.5 ^a	10.7 ^a _b	0.70 ^a	676 ^b	51.6 ^c	91.5	18.6 ^a _b	12.1	3.96 ^a _b
Mikamo Golden	36.9 ^b	11.1 ^a	0.64 ^b _c	665 ^c	51.2 ^b _c	91.1	17.1 ^b _c	12.9	4.03 ^a _b

1) : Within columns, means followed by the same letter are not significantly different at the 0.05 level according to Duncan's multiple range test.

Table 2-2 (continued)

Cultivar	Malt extract (%)	Extract yield (%)	Total nitrogen (%)	Soluble nitrogen (%)	Kohlbach index (%)	Diastatic power (WK)	Diastatic power (WK/TN)	Apparent final attenuation (%)	Quality index
1981~1985									
Amagi Nijo	81.2 ^{b1)}	74.0 ^b	1.59 ^b	0.76 ^b	48.4 ^a	221 ^b	140 ^b	81.0 ^b	47.3 ^b
Haruna Nijo	83.7 ^a	76.0 ^a	1.71 ^a	0.80 ^a	47.0 ^a	274 ^a	160 ^a	81.5 ^a	59.9 ^a
New Golden	79.8 ^c	72.7 ^c	1.69 ^a	0.69 ^c	41.0 ^b	192 ^c	114 ^c	81.0 ^b	27.4 ^c
Azuma Golden	79.6 ^c	72.8 ^c	1.67 ^a	0.71 ^c	42.4 ^b	183 ^c	110 ^c	76.9 ^c	23.2 ^d
1986~1991									
Amagi Nijo	80.2 ^d	72.9 ^e	1.68	0.80	48.6	258 ^{b,c}	156 ^{a,b}	83.0 ^d	47.2 ^b
Haruna Nijo	83.5 ^a	76.0 ^a	1.72	0.80	47.3	287 ^a	168 ^a	84.0 ^{a,b,c}	62.2 ^a
Kinuyutaka	80.9 ^c	73.8 ^d	1.63	0.78	48.3	238 ^{c,d}	146 ^b	83.5 ^{c,d}	50.1 ^b
Nasu Nijo	82.8 ^b	75.6 ^{a,b}	1.68	0.76	45.6	269 ^{a,b}	161 ^{a,b}	84.3 ^{a,b}	57.9 ^a
Misato Golden	81.2 ^c	74.3 ^c	1.68	0.78	46.7	227 ^d	136 ^c	84.7 ^a	49.9 ^b
Mikamo Golden	82.8 ^b	75.4 ^b	1.69	0.81	48.1	293 ^a	173 ^a	83.6 ^{b,c,d}	62.3 ^a

1) : Within columns, means followed by the same letter are not significantly different at the 0.05 level according to Duncan's multiple range test.

にも有意差が認められた。蛋白含有率と麦芽全窒素は、あまぎ二条、アズマゴールドン、ニューゴールドン、はるな二条の順に低かったが、あまぎ二条とはるな二条との差は蛋白含有率で0.6%、麦芽全窒素で0.12%と比較的小さかった。

1986～1991年産では、ミサトゴールドンの千粒重が他の5品種に比べて有意に大きかったが、容積重はきぬゆたかが大きかった。蛋白含有率は、きぬゆたかがあまぎ二条、はるな二条、ミカモゴールドンよりも有意に低かったが、その差は0.7～0.8%と小さかった。きぬゆたか、なす二条、ミカモゴールドン、ミサトゴールドンは、浸麦時間、麦芽エキス、エキス収量、評点が、あまぎ二条とはるな二条との中間の値を示した。1981～1985年産の結果とは異なり、蛋白含有率、可溶性窒素、コールバッハ数はあまぎ二条とはるな二条との間に有意差が認められなかった。きぬゆたかとミサトゴールドンは糖化時間、麦芽エキス、エキス収量、ジアスターゼ力(WK, WK/TN)についてはるな二条、ミカモゴールドン、なす二条の3品種よりも劣った。

考 察

1981～1985年産の分散分析では多くの形質で品種間差が有意となり、品種×栽培法、品種×年次の交互作用も大きくなかった。これは、穀粒や麦芽の形質が遺伝的要因によって強く支配されていることを示している。品種別では、1965年育成のニューゴールドンと1971年育成のアズマゴールドンは、1977年及び1979年に試作開始されたあまぎ二条(キリンビール社)、はるな二条(サッポロビール社)に比べて糖化時間、ろ過時間、麦芽エキス、エキス収量、可溶性窒素、コールバッハ数、ジアスターゼ力が明らかに劣った。栃木県農業試験場栃木分場のビール麦育種における麦芽品質選抜は1971年度に開始されたため、ニューゴールドンとアズマゴールドンはどちらも初・中期世代における品

質選抜を受けていない品種である。これに対して、1986～1991年産の分散分析では可溶性窒素とコールバッハ数で供試6品種間に有意差が見られなくなったほか、他の各形質でも品種間のF値が小さくなった。解析に用いたミサトゴールドン、ミカモゴールドン、きぬゆたか(キリンビール社)、なす二条(キリンビール社)はいずれもビール麦の主要病害であるオオムギ縮萎病抵抗性に関して改良が加えられた品種である。これらの主要麦芽形質はあまぎ二条とはるな二条との中間に位置づけられ、特になす二条とミカモゴールドンのはるな二条に近く、最近のビール麦品種が病害抵抗性に加えて品質的にもかなり改善されていることがわかる。ヨーロッパでは小規模製麦システムに関する研究の進展に伴って育種試験の多くの材料について少量サンプルでの麦芽品質の評価が可能となり、エキス収量やジアスターゼ力の向上が着実に進んだとされている(Lein 1964, Sparrow 1970)。このことはわが国のビール麦育種にもあてはまるものであり、麦芽分析による品質選抜が効果的に機能していることを示している。糖化時間及びろ過時間は品質評価基準には含まれておらず、重要形質である麦芽エキス、ジアスターゼ力ほどの積極的な選抜は加えられていないと考えられるが、ニューゴールドン、アズマゴールドンの2品種に比べて最近の4品種は明らかに改善がみられていることから、貯蔵澱粉や蛋白質の構造あるいは組成の改良に伴って付随的に向上したのではないかと推察される。

一方、蛋白含有率は年次間差及び栽培法間の差が大きく、年次と栽培法との交互作用も有意であったことから、環境条件による変動が大きい形質であると考えられる。蛋白含有率は1981～1985年産、1986～1991年産の分散分析とも有意な品種間差が認められたが、その差は1%未満と小さかった。Reiner *et al.* (1975) はヨーロッパ各国における醸造用オオムギの育種効果

醸造用二条オオムギの麦芽品質

を調査し、蛋白含有率が低下している傾向はないと結論づけている。わが国の醸造用オオムギ育種の評価基準には、蛋白含有率と密接な関係にある麦芽全窒素が含まれているが、少なくとも現在のところ低蛋白化への育種効果は現れていないと考えられる。

2 農業形質、穀粒形質及び麦芽形質の形質間相関

醸造原料としてのオオムギは、ビール製造の過程で必要な酵素、澱粉、蛋白質をバランス良く保つことが重要であるため、形質間に共通する変動の傾向を明らかにしておく必要がある。これまでの報告で、オオムギの蛋白含有率は麦芽エキスとの間に高い負の相関が認められているほか、麦芽全窒素及びジアスターゼ力と高い正の相関を示す(早乙女ら 1991)ことが知られている。本節では、農業形質、穀粒形質、麦芽形質の広範囲な形質を対象として、わが国の栽培品種における形質間の相関係数を算出し、蛋白含有率と他形質との関係を中心に形質間相互の関係を検討した。

材料及び方法

前節で構築したデータベースから、供試点数の多いあまぎ二条、はるな二条、ミサトゴールデンの3品種のデータを検索した。これらを通信用回線により農林水産研究計算センターの大型計算機(ACOS-800)に転送し、FORTRANプログラムで農業形質、穀粒形質、麦芽形質の形質間の相関係数を算出した。

結 果

品種別の主要な穀粒形質・麦芽形質間の相関係数をTable 2-3に示した。穀粒形質中では蛋白含有率が麦芽形質に最も大きく影響を及ぼし、麦芽エキス、コールバツハ数とは負の、麦

芽全窒素、可溶性窒素、ジアスターゼ力(WK)とは正のそれぞれ高い相関が認められた。粒あたり窒素量は蛋白含有率と0.66~0.80、千粒重とは0.65前後の高い相関があり、麦芽形質との関係では蛋白含有率と同様の関係を示した。しかし、相関係数は蛋白含有率と麦芽形質との相関係数に比べて小さくなるものが多かった。千粒重は麦芽形質や穀粒蛋白含有率との間に明らかな相関関係は認められなかった。容積重は蛋白含有率、麦芽全窒素、可溶性窒素及びジアスターゼ力(WK、WK/TN)とは負の、麦芽エキス、エキス収量とは正の相関を示す傾向にあったが、これらの関係はあまぎ二条とミサトゴールデンに比べてはるな二条では弱かった。

麦芽形質間では麦芽全窒素が可溶性窒素及びジアスターゼ力(WK)との間に0.63~0.83の高い正の相関、麦芽エキス及びコールバツハ数との間に-0.63~-0.72の高い負の相関を示した。ジアスターゼ力(WK/TN)はジアスターゼ力(WK)と0.5前後の正の相関が認められたが、麦芽全窒素など他形質とは有意な相関は認められなかった。糖化時間は、最終発酵度と0.31~0.59の有意な正の相関、ジアスターゼ力(WK)と負のゆるい相関が認められた。麦芽の溶けに関連する麦芽収量率とコールバツハ数との間には、3品種中2品種で有意な相関は見られなかった。

農業形質と穀粒形質、麦芽形質との相関係数をTable 2-4に示した。出穂期と成熟期は千粒重及び粒あたり窒素量との間に比較的高い正の相関を示し、遅い時期に登熟するほど穀粒の乾物重や窒素量が増加する傾向にあった。また、糖化時間とは負の、麦芽全窒素とは正のゆるい相関が認められた。最終発酵度は出穂期とは-0.4前後の相関が認められたが、成熟期とは有意な相関を示さず、登熟日数と0.4前後の正の相関を示した。容積重は出穂期、成熟期、登熟日数との間に相関関係が見られなかった。穂長

栃木県農業試験場研究報告第41号

Table 2-3 Correlation coefficients among grain and malting characters

	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	AFA ¹⁾
(1)1000 grain weight	.68**	-.09	.54**	-.10	.27*	-.04	.05	.14	-.18	-.18	-.21*
	.69**	.18	.15	-.20	.02	.13	.16	.01	-.02	-.23*	-.25*
	.63**	-.21	.48**	.00	.30*	-.10	-.07	.08	-.35**	-.31*	-.32**
(2)Nitrogen content per grain	.66**	.00	-.28**	-.35**	.59**	.57**	-.31**	.38**	-.19	-.37**	
	.80**	-.08	-.43**	-.56**	.77**	.65**	-.45**	.58**	-.07	-.35**	
	.70**	.04	-.11	-.36**	.63**	.45**	-.39**	.31*	-.34**	-.35**	
(3)Protein percentage			-.53**	-.33**	-.75**	.93**	.81**	-.59**	.75**	-.11	-.31**
			-.22*	-.44**	-.77**	.96**	.77**	-.63**	.81**	.08	-.26*
			-.41**	-.13	-.75**	.91**	.65**	-.58**	.71**	-.16	-.16
(4)Liter weight				.26*	.59**	-.50**	-.45**	.31**	-.65**	-.27*	.01
				.07	.21*	-.14	-.21*	-.02	-.35**	-.40**	.03
				.15	.47**	-.30*	-.30*	.08	-.58**	-.36**	-.11
(5)Mashing period				.16	-.30**	-.25*	.21*	-.34**	-.11	.47**	
				.22*	-.42**	-.38**	.23*	-.37**	-.06	.59**	
				-.00	-.08	-.22	-.12	-.23	-.19	.31*	
(6)Malt extract						-.72**	-.50**	.59**	-.67**	-.05	-.03
						-.70**	-.34**	.74**	-.66**	-.18	.08
						-.68**	-.22	.72**	-.63**	-.04	-.22
(7)Total nitrogen(TN)							.82**	-.71**	.71**	-.26*	-.24*
							.83**	-.63**	.81**	.02	-.23*
							.72**	-.64**	.63**	-.35**	-.13
(8)Soluble nitrogen								-.19	.63**	-.14	-.22*
								-.10	.67**	.00	-.27*
								.07	.50**	-.23	-.20
(9)Kohlbach index									-.41**	.32**	.16
									-.52**	-.03	.07
									-.37**	.24**	-.03
(10)Diastatic power(WK)										.49**	-.08
										.59**	-.17
										.50**	-.07
(11)Diastatic power(WK/TN)											.21*
											.06
											.10

Upper, middle and lower values show correlation coefficients in Amagi Nijo (n=87) , Haruna Nijo (n=87) and Misato Golden (n=66) ,respectively.

* and ** : significant at the 0.05 and the 0.01 level, respectively.

¹⁾ : Apparent final attenuation.

醸造用二条オオムギの麦芽品質

Table 2-4 Correlation coefficients among agronomic characters and grain and malting characters.

	Heading date	Date of maturity	Ripening period	Ear length	Number of ear	Degree of Lodging	BYM ¹⁾
1000 grain weight	.63** .57** .47**	.73** .58** .52**	.18 -.01 -.08	.36** .25* .19	-.28** -.19 -.56**	-.16 -.25* -.20	.07 -.19 ---
Nitrogen content per grain	.63** .56** .37**	.74** .63** .51**	.19 .09 .07	.48** .29** .31**	-.43** -.15 -.35**	.09 .00 -.11	.26** .10 ---
Protein percentage	.31** .33** .05	.37** .42** .20	.10 .14 .18	.38** .21* .23	-.33** -.05 .06	.25* .19 .05	.36** .29** ---
Liter weight	.16 -.08 .27*	.08 -.12 .15	-.16 -.07 -.24*	-.19 -.37** -.09	.07 .31 -.17	-.29** .03 -.09	-.29** -.37** ---
Mashing period	-.22* -.36** -.28*	-.21* -.32** -.19	.03 .09 .20	-.06 -.04 .25*	-.07 .04 -.09	-.41** -.34** -.27*	-.10 -.13 ---
Malt extract	-.12 -.22* .03	-.15 -.23* -.07	-.04 -.00 -.15	-.24* -.13 -.04	.25* -.01 -.22	-.30** -.19 -.17	-.34** -.38** ---
Total nitrogen(TN)	.22* .25* .02	.28** .38** .24*	.09 .22* .28*	.40** .23* .32*	-.33** -.09 -.04	.16 .20 .09	.28** .25* ---
Soluble nitrogen	.21* .18 -.12	.31** .34** .17	.18 .26* .41**	.45** .30** .51**	-.40** -.15 -.16	-.04 .12 .01	.24* .14 ---
Kohlbach index	-.11 -.18 -.15	-.06 -.19 -.13	.09 -.01 .06	-.15 .01 .10	.07 .00 -.12	-.34** -.19 -.12	-.18 -.26* ---
Diastatic power(WK)	.02 .12 -.14	.12 .23* -.04	.16 .18 .17	.34** .29** .13	-.34** -.07 .21	.11 .33** .23	.46** .36** ---
Diastatic power(WK/TN)	-.22* -.13 -.18	-.13 -.11 -.30*	.15 .04 -.10	-.01 .19 -.23	-.06 .02 .29*	-.03 .31** .20	.26* .28** ---
Apparent final attenuation	-.39** -.34** -.45**	-.19 -.06 -.21	.36** .49** .45**	.07 .14 .19	.03 .05 -.06	-.34** -.15 -.06	-.13 -.16 ---

Upper, middle and lower values show correlation coefficients in Amagi Nijo (n=87), Haruna Nijo (n=87) and Misato Golden (n=66), respectively.

* and **: significant at the 0.05 and the 0.01 level, respectively.

¹⁾: Degree of Barley Yellow Mosaic Disease.

は千粒重、粒あたり窒素量、麦汁色度、可溶性窒素とゆるい正の相関を示し、穂数はこれらの形質とゆるい負の相関を示す傾向にあった。オオムギ縮萎縮病の発病程度（ミサトゴールデンは抵抗性品種のためデータなし）は蛋白含有率、麦芽全窒素、ジアスターゼ力（WK, WK/TN）と正の相関、容積重、麦芽エキスとの間に負の相関が認められた。倒伏程度は糖化時間との間にゆるい負の相関が認められた以外は麦芽諸形質との間に有意な相関は認められなかった。

考 察

穀粒の蛋白含有率が麦芽品質に及ぼす影響については古くから報告があり、特に麦芽エキスとの間に高い負の相関のあることが多くの研究によって認められている（Anderson *et al.* 1941, Foster *et al.* 1967, Ullrich *et al.* 1975, 倉井ら 1987, Lu and Ding 1991）。また、製麦前後のオオムギと麦芽の窒素含有率にはほとんど変化がない（Munk 1987）ため、オオムギの蛋白含有率は麦芽全窒素と高い正の相関を示す（栃木県農試栃木分場 1989）。さらに、蛋白含有率（早乙女ら 1991）、麦芽全窒素（Ulmer *et al.* 1984）は可溶性窒素及びジアスターゼ力（WK）との間に高い正の相関のあることが報告されている。本解析では蛋白含有率は麦芽エキス及びエキス収量と高い負の相関、麦芽全窒素、可溶性窒素、ジアスターゼ力（WK）とは高い正の相関が認められたほか、コールバツハ数との間にもやや高い負の相関が認められた。これは、蛋白含有率が高いほど窒素の分解程度が低下することを示すものである。これまでの研究で、蛋白含有率が高いオオムギでは蛋白組成中でホルデインの占める割合が大きいとされ（Burger *et al.* 1979）、麦芽製造過程では種子貯蔵蛋白質中の特定のサブユニットが大きな変化を受けることが知られている（宮川ら1991, Marchylo *et al.* 1979）。このため、高蛋白化

したビール麦では蛋白質組成が変化することによってコールバツハ数に影響を及ぼすと推察される。一方、穀粒形質ではあまぎ二条とミサトゴールデンで容積重が蛋白含有率とやや高い負の相関を示し、麦芽形質の麦芽エキス、エキス収量、麦芽全窒素及び可溶性窒素とも有意な相関を示した。蛋白含有率を固定した容積重と麦芽エキスとの偏相関係数を計算したところ、あまぎ二条では+0.35、ミサトゴールデンでは+0.27でそれぞれ有意となり、蛋白含有率の影響を除去しても両者の間に関連性のあることが認められた。前節で述べたように、品種別でも容積重が大きいきぬゆたかは穀粒蛋白含有率、ジアスターゼ力が低かったことから、容積重で表される穀粒の密度が蛋白含有率や麦芽形質に影響を及ぼしていることが示唆される。

穀粒蛋白含有率との相関がない、あるいは弱い形質として、千粒重のほかに糖化時間、ジアスターゼ力（WK/TN）、最終発酵度があげられる。糖化時間は麦芽の澱粉がジアスターゼによって糖に分解される時間であり、ジアスターゼ力（WK）とは負の相関を示すことが予想されたが、本解析では両者の相関は比較的小さかった。このため、糖化時間の変動に関してはジアスターゼ力を構成するアミラーゼの種類や、澱粉の構造等他の要因も考慮する必要がある。オオムギやコムギの種子貯蔵澱粉には大粒子と小粒子の2種類があり、高温条件下で登熟したコムギでは小粒澱粉が少ないという報告がある（Bhullar and Jenner 1985）。本解析で糖化時間と最終発酵度は出穂期や成熟期、登熟日数と有意な相関を示し、両者の間にも同様な相関が認められたことから、ビール麦でも登熟環境が澱粉の蓄積形態と関連し、それが麦芽品質に影響を及ぼしている可能性が示唆された。

Ⅲ 低蛋白オオムギ品種における窒素蓄積

1 登熟期間中の穀粒の窒素含有率と乾物重の変化

六条オオムギ品種Karlは低蛋白の特性を持ち、他の栽培品種に比べて穀粒の蛋白含有率が2%以上低いことが知られている(Wesenberg *et al.* 1976). Karlの低蛋白性に関連する形質として、種子貯蔵蛋白質の組成 (Burger *et al.* 1979) 及びホルデン合成の面からの報告 (Peterson *et al.* 1987) はあるが、窒素蓄積の観点からの報告は行われていない。本節では登熟期間中の穀粒における窒素と乾物の蓄積過程を栽培品種と比較し、Karlの窒素蓄積に関する特性を明らかにする。また、Karlを交配親とした組合せから選抜した系統についても同様に比較を行う。

材料及び方法

供試材料として、Karl とミサトゴールデン (対照) 及びKarlを片親とする交雑後代のF₄からF₆までの3世代で穀粒の窒素含有率により選抜した二条大麦2系統 (大系HC-1, 大系HC-2) を用いた。大系HC-1は栃系167を母、Karl × にらさき二条15号のF₁を父とした交配組み合わせ、大系HC-2は、栃系167を母、Karl × 野洲二条3号のF₁を父とした交配組み合わせから育成された系統である。

試験区は1区2.4m² (0.6m×4m)の2区制で、1989年10月26日に株間12cmの二条千鳥に点播した。肥料は基肥として10aあたりリン酸12kg, カリ8kgを施用したが、土壤消毒圃場のため窒素は施用しなかった。供試4系統・品種内で一定日に出穂した茎をマークし、それらの茎について出穂後約1週間ごとにサンプリングを行い、穀粒の窒素含有率と100粒重を測定した。サンプリング数は1回あたりKarlは6~7茎、その他は9~10茎とした。窒素含有率の測定はケルダール

法により、乾燥試料0.5gを8mlの分解液で酸化分解し、オートアナライザーで比色定量した。分解液は、二酸化セレン30gを純水500mlに溶かし、過塩素酸200mlを加えた後濃硫酸で5ℓとした。

100粒重と窒素含量は、笹原ら (1982) に準じて粒重の増加をLP (Lag phase, 登熟初期), LIP (Linear increase phase, 登熟盛期), LFP (Late filling phase, 登熟終期) の3時期に分け、LIPとLFPにおける変化を供試材料間で比較した。解析にあたっては、大塚 (1978) の折れ線モデルを適用し、折曲点とそれぞれの区間における回帰係数を求めた。大系HC-1と大系HC-2はLPにおけるデータ数が不足したため、KarlとミサトゴールデンのLPにおける回帰係数の平均値を用いて第1折曲点を推定した。

結果

供試材料の出穂期と成熟までの日数をTable 3-1に示した。出穂期はミサトゴールデンが4月16日で最も早く、これに比べて大系HC-1とKarlは7日前後、大系HC-2は12日遅かった。出穂期から成熟までの日数は大系HC-1, HC-2がミサトゴールデンよりも短く、Karlは50日と最も長かった。

登熟期間中の100粒重, 100粒あたり窒素量, 穀粒窒素含有率の経時変化をFig. 3-1に、100粒重の変化から折れ線モデルにより計算した穀粒の1日あたり乾物増加量 (dW), 1日あたり窒

Table 3-1 Heading date and days to maturity of the plant materials used

Cultivar or line	Ear type	Heading date	Days to maturity from the heading date
Karl	6-rowed	April 25	50
Misato Golden	2-rowed	April 16	47
Daikei HC-1	2-rowed	April 23	44
Daikei HC-2	2-rowed	April 28	42

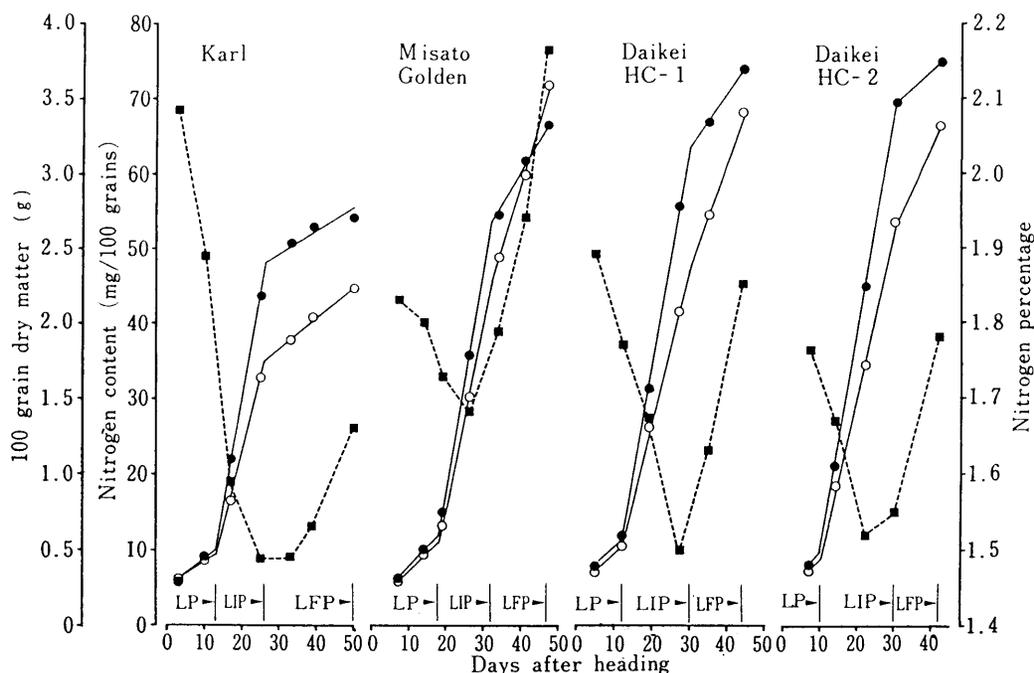


Fig. 3-1. Change of dry matter, nitrogen content and nitrogen percentage in grain. LP(Lag phase), LIP(Linear increase phase) and LFP(Late filling phase) were determined according to the increasing rate of grain dry matter per day. Turning points were calculated by intersecting straight line regression method(Otsuka 1978).

—●— 100 grain dry matter, —○— Nitrogen content, -■- Nitrogen percentage.

Table 3-2 Increase of dry matter and nitrogen content in the LIP and LFP

Cultivar or line	Grain increase phase	Length of the period (days)	Grain dry matter increase per day (dW) (mg)	Nitrogen increase per 100 grains per day (dN) (mg)	dN/dW (%)
Karl	LIP	13	146	1.95	1.34
	LFP	24	13.7	0.41	3.01
Misato Golden	LIP	14	148	2.47	1.67
	LFP	15	43.8	1.74	3.97
Daikai HC-1	LIP	18	144	2.03	1.41
	LFP	14	36.1	1.46	4.03
Daikai HC-2	LIP	20	148	2.21	1.50
	LFP	12	22.3	1.10	4.91

LIP : linear increase phase, LFP : late filling phase.

低蛋白オオムギ品種における窒素蓄積

素増加量 (dN) をTable 3-2に示した. LIPは大系HC-1, 大系HC-2がKarlとミサトゴールデンよりも4~7日短かった. また, LFPは大系HC-1と大系HC-2がミサトゴールデンよりも1~3日短く, Karlはこれらよりも10日前後長かった. LIPにおけるdWは144~148mgで供試材料間に大きな差はなかったが, dNはミサトゴールデンが2.47mgとKarlに比べて0.52mg大きかった. 大系HC-1のdNは2.03mgでKarlよりもやや大きく, 大系HC-2はKarlとミサトゴールデンとのほぼ中間であった. この時期の100粒重増加に対する窒素量の増加の割合 (dN/dW) はKarlが1.34%, ミサトゴールデンが1.67%で, 大系HC-1と大系HC-2はそれぞれ1.41%, 1.50%を示した. LFPでのdWはミサトゴールデン (43.8mg), 大系HC-1 (36.1mg), 大系HC-2 (22.3mg), Karl (13.7mg) の順に大きかった. dNもこれと同様の順序であったが, dN/dWは大系HC-2が4.92%と最も大きく, 大系HC-1とミサトゴールデンは約4%, 最も小さいKarlが3.01%であった.

穀粒の窒素含有率はLIPでおおむね低下し, LFPへの移行期に上昇に転じる傾向にあった. 供試4品種のLIP開始時における穀粒窒素含有率はいずれも1.75%前後で大きな差はなかった. ミサトゴールデンはLIPにおける穀粒窒素

の減少程度が小さく, LIPの期間も短かったため窒素含有率が高い水準で上昇に転じた. LFP開始時のミサトゴールデンの穀粒窒素含有率は他の系統・品種より約0.2%高かった.

Karl, 大系HC-1, 大系HC-2の穀粒窒素含有率はLFP移行期に1.5%前後まで低下したが, LIPの期間はKarlが13日, 大系HC-1と大系HC-2はそれぞれ18日, 20日であり, 1日あたりの減少程度はKarlが最も大きかった. LFPではKarlが初期には明確な穀粒窒素含有率の上昇傾向を示さなかったのに対して, 大系HC-1と大系HC-2はミサトゴールデンとほぼ平行的に推移し, Karlとの差は登熟が進むほど拡大する傾向にあった.

収穫後の100粒重, 100粒あたり窒素量及び穀粒の窒素含有率をTable 3-3に示した. 100粒重は六条種のKarlが2.7gで最も小さく, 大系HC-1と大系HC-2はミサトゴールデンよりも有意に大きかった. Karlの100粒当り窒素量は45mgで, ミサトゴールデンの2/3以下であった. 大系HC-1, 大系HC-2はミサトゴールデンよりも窒素量がやや小さかったが, 統計的な有意差は認められなかった. 穀粒窒素含有率はKarlが1.66%でミサトゴールデンよりも0.5%小さかった. 大系HC-1と大系HC-2の穀粒窒素含有率は1.85%, 1.78%で, Karlより有意に大きく, ミサトゴールデンよりは有意に小さかった.

Table 3-3 Nitrogen concentration in grain at maturity

Cultivar or line	100 grain dry weight (g)	Nitrogen content per 100 grains (mg)	Nitrogen percentage in grains
Karl	2.69 ^{a1)}	44.7 ^a	1.66 ^a
Misato Golden	3.32 ^b	71.7 ^b	2.16 ^c
Daikai HC-1	3.69 ^c	68.2 ^b	1.85 ^b
Daikai HC-2	3.73 ^c	66.4 ^b	1.78 ^b

¹⁾ : Within columns, means followed by the same letter are not significantly different at the 0.05 level according to Duncan's multiple range test.

考 察

本実験で成熟期のKarlはミサトゴールデンよりも0.5%低い穀粒窒素含有率を示した。これは、蛋白含有率に換算すると3.1%の差となり、Karlの低蛋白性が再確認された。しかしながら、Karlを片親とする交配よりの雑種後代系統で、低蛋白を目標にして選抜された大系HC-1と大系HC-2は、ミサトゴールデンよりも低い穀粒窒素含有率を示したものの、Karlに比べると高い値であった。

本実験でKarlはLIP及びLFPのdN/dWが小さく、さらにLFPのdNとdWが小さいという特徴を示した。LFPはLIPに比べてdN/dWが大きい時期であるため、この時期の転流の絶対量が小さいことはKarlの穀粒窒素含有率を低下させている一因である。これに対して大系HC-1と大系HC-2のdN/dWはKarlより大きく、特にLFPではミサトゴールデンと同等かそれ以上の値であった。また、LFPでのdNとdWも両品種の間かミサトゴールデンに近かったため、この2系統の穀粒窒素蓄積特性はKarlとは異なると考えられた。大系HC-1と大系HC-2に見られる特徴は、LIPの期間が長いことである。LIPはdN/dWが小さい時期であり、大系HC-1と大系HC-2ではこの期間が長く持続されたことが、収穫物の穀粒窒素含有率の低下につながる結果となった。

Burger *et al.* (1979) は、Karlと血縁関係にある六条オオムギの系統にKarlと同じ低蛋白の特性が認められるとしており、この形質が高い遺伝力を持つことを紹介している (Rasmusson 私信)。しかし、Karlと二条オオムギ品種との交配から低蛋白を目標に選抜された大系HC-1と大系HC-2は、本実験でKarlと同等の低蛋白性を示さなかった。これは、低蛋白の要因がKarlとは異なることによると考えられる。KarlのLFPでのdNとdWが小さい特性は低蛋白の要因のひとつであるが、同時に登熟期間の長さ

結びつくものである。ビール原料用のオオムギは大粒でエキス分の多いものが好ましく (増田・川口 1968)、オオムギは二毛作体系の中で栽培されることが多いため早熟性が要求されるので、Karlが持つLFPでの1日あたり乾物増加量が少ないという特性は望ましいものではない。大系HC-1と大系HC-2を選抜する過程では初期世代で晩生個体が切り捨てられているため、こうした操作がLFPでの転流速度の遅い系統を淘汰し、低蛋白系統の選抜効率を低下させた可能性がある。

2 葉身の窒素含有率とプロテアーゼ活性

ムギ類では、穀粒に蓄積される窒素量の多くが栄養体からの再転流であり、栄養器官から穀粒への窒素転流には高分子の蛋白質を分解する酵素が重要な働きをなすとされている (米山 1987)。本節では、Karlの低蛋白に関連する形質として、登熟期間中における葉の窒素含有率と酸性プロテアーゼ活性を測定し、ミサトゴールデン及びKarlの交雑後代系統と比較した。

材料及び方法

前節と同じ供試材料を用いて、出穂後約1週間毎に上位2葉をサンプリングし、上位2葉の窒素含有率を測定した。プロテアーゼ活性の測定は、出穂後1週間から4週間までの材料について行った。また、収穫時には止葉及び最上位節の稈の窒素含有率を測定した。

プロテアーゼを抽出するため、葉身を細断し、抽出溶媒 (pH7.0, 25mMリン酸カリウム, 5mM EDTA, 5mMシステイン) をサンプル1gあたり10ml加えて乳鉢と乳棒ですりつぶした。これを4000rpmで15分間の遠心分離にかけ、上清を抽出液として用いた。プロテアーゼ活性は、pH4.2の200mMクエン酸緩衝液に溶かした牛血ヘモグロビンを基質とし、基質4.8mlに抽出液

低蛋白オオムギ品種における窒素蓄積

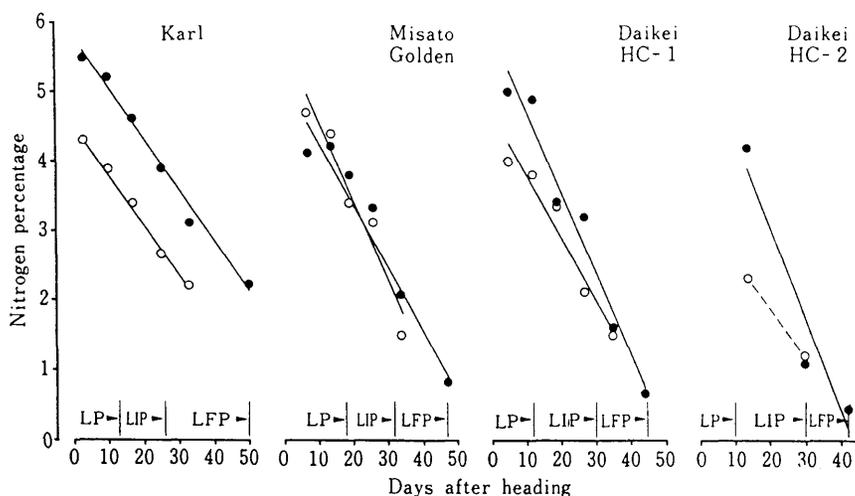


Fig. 3-2. Change of nitrogen percentage in leaves.
 LP:lag phase, LIP:linear increase phase, LFP:late filling phase.
 ● Flag leaf, ○ The second leaf from the top.

0.2mlを加えて40℃で90分間反応を行った。0.5mlの12%トリクロロ酢酸 (T C A) を加えて反応を停止させた後、3000rpm、15分間の遠心分離を行い、T C A可溶性ペプチドの増加をLowryらのフェノール法 (Lowry *et al.* 1951) で定量した。すなわち、0.1規定水酸化ナトリウム溶液1ℓ中に炭酸ナトリウム20gを溶解させた液50mlと純水100ml中に硫酸銅5水和物0.5gとクエン酸ナトリウム1gを溶解させた液1mlとの混合液を用意し、この溶液5ml中に上記の上清0.2mlを加え、40℃10分間インキュベートした後フェノール試薬0.5mlを加えて750nmの分光光度計で比色定量した。

結 果

登熟期間中の葉身窒素含有率の変化をFig.3-2に示した。窒素含有率は、LPにおけるミサトゴールデンの止葉でわずかに増加する傾向が見られた以外は、止葉、上位2葉目とも登熟日数が進むとともに直線的に減少した。これを直線回帰式に当てはめた場合の傾きは、止葉ではKarlが-0.075、ミサトゴールデンが-0.089

(1回目のデータを除くと-0.106)、大系HC-1が-0.117、大系HC-2が-0.137で、2葉目ではKarlが-0.073、ミサトゴールデンが-0.117、大系HC-1が-0.090となり、いずれの葉位でもKarlの窒素含有率の低下程度が最も小さかった。ミサトゴールデンと大系HC-1では止葉と2葉目との回帰係数の大きさが逆転し、明確な差は認められなかった。

収穫時の止葉の窒素含有率はミサトゴールデン、大系HC-1、大系HC-2が0.46~0.84%であったのに対して、Karlは2.17%と1%以上高い値であった (Table 3-4)。大系HC-2はミサトゴ

Table 3-4 Nitrogen concentration in harvested plants

Cultivar or line	Nitrogen percentage	
	Leaves ¹⁾	Stems ²⁾
Karl	2.17 ³⁾	0.83 ^b
Misato Golden	0.84 ^b	0.38 ^a
Daikei HC-1	0.68 ^{a,b}	1.88 ^c
Daikei HC-2	0.46 ^a	1.73 ^c

¹⁾ : Flag leaf, ²⁾ : The top internode.

³⁾ : Within columns, means followed by the same letter are not significantly different at the 0.05 level according to Duncan's multiple range test.

ルデンより有意に低く、大系HC-1も有意差は認められなかったもののミサトゴールデンよりやや低い値を示した。Karlの稈の窒素含有率は0.83%で、ミサトゴールデン(0.38%)より有意に高かった。大系HC-1と大系HC-2の稈の窒素含有率は共に1.8%前後とKarlの約2倍であり、葉の窒素含有率とは異なる傾向を示した。

葉身のプロテアーゼ活性(ブランクとの吸光度の差)の変化をFig.3-3に示した。止葉及び2葉目ともLIPでは登熟の進行と共に活性が直線的に低下した。しかし、LPでの測定値は変動が大きく、全体としては直線回帰には適合しなかった。KarlはLPでの止葉の吸光度がいずれも0.12以下で他の供試材料よりもやや低い傾向にあったが、LIPでのプロテアーゼ活性では供試材料間に明確な違いは見られなかった。

考 察

穀粒の蛋白含有率の品種間差異の要因として、乾物重の違いを捉えた報告と窒素量の違いを捉えた報告とがある。コムギでは開花後の同化産物が多い品種(Cox *et al.* 1985)や開花時に茎葉部の乾物蓄積が多い品種(McMullan *et al.* 1988)が穀粒への乾物蓄積が大きく、穀粒窒素含有率は低くなるとされている。これらの報告では乾物蓄積の品種間差異が穀粒窒素含有率を左右しており、窒素収量や茎葉部の窒素

含有率には大きな差は認められない。一方、Corke *et al.* (1989)は、オオムギの低蛋白品種と高蛋白品種との比較から、両品種には収穫指数の差はないが、低蛋白品種は登熟期間中の茎葉部からの窒素転流が少なく、茎葉部の窒素含有率が高くなるため窒素の収穫指数に差が生じるとしている。本実験では収量と茎葉乾物重を測定していないのでこれらの比較はできないが、粒あたりの乾物重と窒素量から見る限りでは、Karlは窒素蓄積量、大系HC-1と大系HC-2は乾物蓄積量が穀粒の窒素含有率に大きく影響したと考えられる。また、Karlの葉身の窒素含有率の低下程度が小さいという特性は、葉身の乾物重の減少よりも相対的に窒素量の減少が小さいことを示すものであり、LIPとLFPを通してdN/dWが小さいという特徴との関連性が示唆される。前節で述べたように、LFPでのKarlの転流の遅さは望ましい特性ではないため、Karlの雑種後代から低蛋白系統を育成するにあたっては、dN/dWが小さいというもうひとつの特性に注目すべきであろう。これに関連する指標のひとつとして葉の窒素含有率の遺伝的特性を解明し、穀粒窒素含有率や粒大、熟期などと併用した選抜を検討することは有用と考えられる。

Karlはミサトゴールデンに比べて収穫時の稈の窒素含有率も高い性質を示したが、稈の窒素

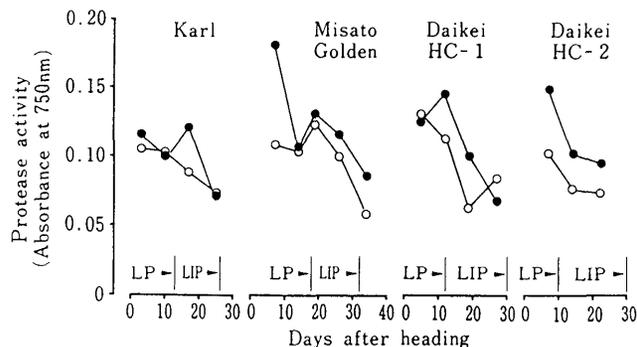


Fig. 3-3. Change of protease activity in leaves.

LP:lag phase, LIP:linear increase phase, LFP:late filling phase.

● Flag leaf, ○ The second leaf from the top.

含有率では大系HC-1,大系HC-2がKarl以上の高い値であり、必ずしもKarlだけに特有の性質ではなかった。Karlの雑種後代から低蛋白系統を育成する過程では、選抜された18系統中17系統の稈の窒素含有率がミサトゴールドデンよりも高いというデータが得られている(桐生 未発表)が、一方では稈の窒素含有率は環境の影響を受けやすく、穀粒窒素含有率との明確な相関は認められないとの報告もある(Welch and Saha 1984)。オオムギの登熟期における窒素量の減少は稈よりも葉で大きく(Chaterjee *et al.* 1982)、葉、根、稈の窒素が穂の総窒素の増加に対して寄与する見かけ上の割合は、それぞれ23.6%, 11.5%, 11.5%であるとされている(Yoneyama 1983)ことから、穀粒の窒素含有率の品種間差に対しては、葉からの窒素転流がより大きい影響を及ぼすと推察される。

栄養器官の窒素の再配分に関する特性として、プロテアーゼ活性をとりあげたいくつかの報告がある。Peretz *et al.* (1973)は、蛋白収量が高いイネ品種は葉のプロテアーゼ活性が高いとした。また、コムギでも穀粒の蛋白含有率の高い品種は開花後の葉の酸性プロテアーゼ活性が高いという報告(Rao and Croy 1972, Dalling *et al.* 1976)がある。本実験ではLPでのプロテアーゼはKarlがやや低い傾向にあったものの、LIPのプロテアーゼ活性は供試材料間で明確な差が認められなかった。Karlの葉身窒素の減少は酸性プロテアーゼ活性の差だけでは十分に説明できないと考えられるので、葉身窒素の減少程度の品種間差異を解明するためには、窒素の再転流に関するより詳細な研究が必要であろう。

Ⅳ 低蛋白二条オオムギ系統 (育種中間母本) の育成

1 低蛋白による選抜効果

Karlは蛋白含有率が低いという醸造用オオムギとして好ましい特性を保持しているが、六条種で粒大が小さく、晩生で収量が少ないため、穂型や草型がわが国の栽培品種に近い低蛋白の二条オオムギ系統を育成する必要がある。これまで、わが国でも低蛋白を育種目標とする醸造用オオムギの交配組合せが実施されているが、選抜効果に関する報告は見られない。本節では、Karlを材料とした戻し交配と三系交配から低蛋白に対する選抜効果を検討した。

材料及び方法

Karlを片親に用いた17種の交配組合せについての戻し交配及び三系交配を材料として、選抜効果を検討した。これらの交配は、1983年度に栃木県農業試験場栃木分場ビール麦品質改善指

定試験地で行われたものである。交配組合せ及び選抜経過の一覧をTable 4-1に示した。F₁~F₃は場内ガラス室及び鹿兒島、北海道の現地を利用した世代促進栽培、F₄とF₅世代は単独系統で蛋白含有率による選抜が行われた。選抜基準は、F₄世代が蛋白含有率13%未満、F₅世代は10%以下であった。F₆世代以降は、低蛋白のほか、立毛状態、生育調査の結果及び麦芽品質の評価によって選抜を行った。

1989年度にはF₈世代の育成系統のうち無作為に8系統を供試して、窒素施肥水準を異にした場合の蛋白含有率の変動を調査し、Karl及びミサトゴールデンとの比較を行った。試験区は土壤消毒圃場に1区 2.4m² (0.6m×4m)とし、標準区(窒素無施肥)、多肥区(窒素成分基肥4kg/10a, 以下同じ)、2kg追肥区、4kg追肥区の4水準を設けた。播種日は10月28日で、畝間60cm、5cm間隔の二条千鳥に点播した。追肥は3月6日に行った。

Table 4-1 Cross combinations between Karl and Japanese malting barleys

Cross combination	No. of planted lines(F4)	No. of selected lines				Selected lines (F8)
		F4	F5	F6	F7	
<Karl/Tochikei 161>F1//Tochikei 163	100	22	4	2	0	
<Karl/Tochikei 161>F1//yoshikei 8	98	31	7	0	-	
Tochikei 166//<Karl/Tochikei 161>F1	97	10	0	-	-	
Tochikei 167//<Karl/Tochikei 161>F1	100	18	1	0	-	
Tochikei 170//<Karl/Tochikei 161>F1	97	16	14	9	5	Daikai HC-8~HC-12
Daikai R1927//<Karl/Tochikei 161>F1	106	14	8	1	0	
<Karl/Nirasaki Nijo 15>F1//Tochikei 161	100	42	4	0	-	
<Karl/Nirasaki Nijo 15>F1//Yoshikei 8	93	19	7	1	1	Daikai HC-13
Tochikei 163//<Karl/Nirasaki Nijo 15>F1	101	3	1	0	-	
Tochikei 167//<Karl/Nirasaki Nijo 15>F1	77	4	3	1	1	Daikai HC-1
<Karl/Yasu Nijo 3>F1//Tochikei 161	50	23	5	1	1	Daikai HC-14
<Karl/Yasu Nijo 3>F1//Yoshikei 8	49	30	11	5	3	Daikai HC-15~HC-17
Tochikei 163//<Karl/Yasu Nijo 3>F1	76	5	1	0	-	
Tochikei 167//<Karl/Yasu Nijo 3>F1	41	15	7	6	5	Daikai HC-2~HC-6
<Karl/Tochikei 161>F1/2//Tochikei 161	164	28	15	7	3	Daikai HC-18~HC-20
<Karl/Nirasaki Nijo 15>F1/2//Nirasaki Nijo 15	148	23	2	2	1	Daikai HC-7
<Karl/Yasu Nijo 3>F1/2//Yasu Nijo 3	200	56	19	5	0	

低蛋白二条オオムギ系統(育種中間母本)の育成

結 果

F₄~F₆世代の全系統の蛋白含有率の相対頻度分布をFig.4-1に示した。F₄~F₆世代を通じて、Karlの蛋白含有率はミカモゴールデンよりも3%前後低かった。供試系統はミカモゴールデンとKarlの間に分布するものが多く、Karlよりも低い蛋白含有率を示す系統はほとんど出現しなかった。また、ミカモゴールデンよりも蛋白含有率の高い系統の割合もF₄、F₅、F₆でそれぞれ25%前後と世代間で大きな変化はなかった。しかし、各世代の系統を(Karlの値+ミカモゴールデンの値)/2と比較すると、系統全体の平均値はF₄で+0.80、F₅で+0.76、F₆で+0.28と次第に低くなり、低蛋白による選抜効果の有効であったことがうかがわれる。

育成途中のF₈系統の窒素施用条件別の蛋白含有率をTable 4-2に示した。供試材料の間では、Karlが全ての施肥水準で最も蛋白含有率が低く、多肥区、追肥区を含めて最高11.2%の蛋白含

有率であった。ミサトゴールデンは標準区での蛋白含有率が13.5%とかなり高かったが、多肥条件にした場合でも標準区と大きな違いはなかった。F₈系統の蛋白含有率は、標準区では11.1~13.3%に分布し、全系統がKarlとミサトゴールデンとの中間の値を示した。しかし、窒素施肥量を多くした3処理では、ミサトゴールデン以上の蛋白含有率を示す系統がそれぞれ2~3系統見られ、8系統の平均はミサトゴールデンと大きく違わなかった。供試系統中では大系HC-3の蛋白含有率が最も低かったが、多肥区、追肥区でのミサトゴールデンとの差は0.3~1.1%で、Karlのような蛋白含有率の安定性は見られなかった。

考 察

オオムギの穀粒蛋白含有率の遺伝率については、これまでにいくつかの報告があり、初期世代よりも中期世代で高い値を示すと言われていた(Piper and Rasmusson 1984)。ここで検討した17組合せは、F₄~F₆という中期世代での選抜にもかかわらず、単年度の選抜効果は必ずしも大きいものではなかった。これは、1系統1試験区のため蛋白含有率の値が地力によって変動すること、並びに対立遺伝子のホモ化が十分でなかったことなどによるものと推察される。二・六条間の交配といった遠縁系統間の交

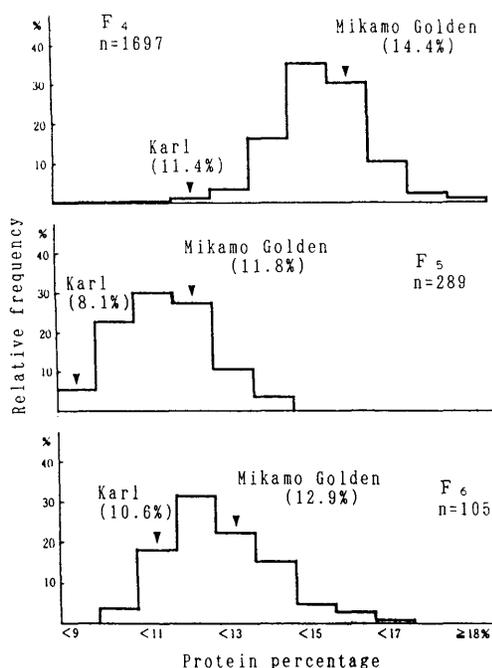


Fig. 4-1. Frequency distribution of protein percentage in the progenies of Karl.

Table 4-2 Protein percentages of breeding lines in response to nitrogen fertilizer

Cultivar or line	Nitrogen fertilizer (kg/a)			
	0	0.4 ¹⁾	0.2 ²⁾	0.4 ²⁾
Daikei HC-1	11.6	13.4	13.1	13.3
HC-3	11.1	12.8	12.7	13.4
HC-4	13.3	14.4	14.2	15.6
HC-5	12.8	12.3	13.8	13.9
HC-7	12.4	14.5	14.6	14.8
HC-11	11.4	13.7	12.6	13.2
HC-14	12.1	15.4	13.6	13.8
HC-20	12.6	13.6	13.6	13.6
mean	12.2	13.8	13.5	13.9
Misato Golden	13.5	13.9	13.8	13.7
Karl	10.4	11.2	11.0	11.2

¹⁾ : Basal dressing. ²⁾ : Top dressing.

雑では、選抜開始の世代を遅らせることが選抜効果の向上に結びつく可能性がある。また、通常の育種試験における選抜では、労力や圃場面積の関係から反復を設けることは不可能であるので、環境変動の大きい蛋白含有率の選抜を行うためには、数世代にわたる継続的な選抜を行う必要があると考えられる。

本試験における育成途中のF₈系統は、標準区では栽培品種に比べて低い蛋白含有率を示したものの、Karlを超えるような低蛋白のものは出現せず、特に多窒素条件下で高蛋白化するものが多かった。高橋ら(1975)は二・六条同質遺伝子系統で二条型系統の蛋白含有率がそれに対応する六条型系統よりも平均2%程度高いことを報告しており、Hockett and Standridge(1975)も二条性遺伝子が蛋白含有率を高めることを認めている。本試験の結果もこうした条性の違いによる窒素蓄積の差が影響している可能性は否定できない。しかし、窒素の転流・蓄積の相違は単に条性の相違のみに起因するのではなく、それ以外の遺伝的特性に影響されている部分があると考えられる。Karlは登熟期後半の穀粒窒素の蓄積量が少なく、成熟時になお多くの窒素を葉身に残存させているのに対して、Karlを片親に用いた交配組合せからの育成途中の系統には同様の特性が認められなかった(佐々木ら1992b)。Karlに特徴的に見られる窒素蓄積が供試系統に取り込まれなかった原因としては、雑種集団からの穂選抜及びF₆世代以降の立毛選抜で穂型や熟期、稈長などを考慮した選抜操作を行ったことが考えられる。Karlは登熟期間が長いという特徴を持つため、特に晩生系統を淘汰することによって希望する遺伝子頻度を低くした可能性がある。また、本試験の結果から、Karlに似た窒素蓄積をもつ系統を効率的に選抜するためには、高窒素施肥条件下での蛋白含有率の測定や、栄養体の窒素含有率を同時に測定するなどの工夫が必要になるとと思われる。

2 低蛋白系統「大系HC-15」の蛋白含有率

Karlの交配組合せから低蛋白を目標として継続的に選抜を行った結果、1990年度にF₉世代で最終的に大系HC-15を選抜した。本系統は、Karl×野洲二条3号のF₁を母、吉系8(後のニシノゴールド)を父とする交配から由来したオオムギ縮萎病抵抗性の二条オオムギ系統である。本節では、大系HC-15の蛋白含有率の年次変動及び追肥試験の結果から、その特性を明らかにした。

材料及び方法

1986～1988年度及び1990、1992年度の大系HC-15の蛋白含有率をKarl及びミカモゴールドと比較した。いずれの年も畦幅60cmに5cm間隔の二条千鳥点播、1区面積は1986年度が0.6m²、1987～90年度は1.2m²、1992年度は6m²である。1986年度は土壤消毒を行ったため、窒素肥料は施用しなかった。1987、88、92年度は窒素成分で3kg/10a、90年度は2kg/10aを基肥として施用した。

1990年度と1992年度は、追肥による蛋白含有率の変動を調査した。1990年度は基肥のみの区のほか、1991年3月7日と3月29日に追肥を行う2処理を設けた。追肥量は窒素成分で3kg/10aとした。また、1992年度の追肥区は、1993年4月2日に窒素成分で2kg/10aを施用した。

穀粒の蛋白含有率は、第3章と同様にオートアナライザーで測定した窒素含有率に6.25を乗じて求めた。

結 果

Table 4-3に蛋白含有率の年次変動を示した。ミカモゴールドが11.8～14.4%と5年間とも高蛋白であったのに対し、大系HC-15の蛋白含有率は最低が1987年度の9.4%、最高が1986年度の11.8%で、醸造用オオムギの適正蛋白含有率の範囲とされている9.5～11.5%を大きく外

低蛋白二条オオムギ系統(育種中間母本)の育成

Table 4-3 Fluctuation of protein percentages among years

Cultivar or line	Year					mean
	1986	1987	1988	1990	1992	
Daikai HC-15	11.8	9.4	11.1	10.5	11.3	10.8
Mikamo Golden	14.4	11.8	12.9	13.0	13.7	13.2
Karl	11.4	8.1	10.6	11.9 ¹⁾	10.3	10.5

¹⁾ : Occurrence of Barley Yellow Mosaic Disease.

れることはなかった。5年間の平均では、ミカモゴールドンに比べて2.4%低く、差の年次間変異も-1.8~-2.6%と比較的安定していた。Karlとの比較では、5年間の平均で大系HC-15の蛋白含有率が0.3%高く、Karlがオオムギ縞萎縮病に罹病した1990年度を除くと、その差は0.4~1.5%であった。

1990年度と1992年度の追肥区における蛋白含有率をTable 4-4に示した。大系HC-15と対照のミサトゴールドン、ミカモゴールドンとの蛋白含有率の差は-1.5~-2.7%で、基肥のみの区とはほぼ同様の傾向を示した。追肥を行った場合の大系HC-15の蛋白含有率は、Karlより0~1.2%高かった。

考 察

大系HC-15の蛋白含有率は、5年間の平均でミカモゴールドンより2.4%低かった。第2章で述べたように、わが国における醸造用オオムギの蛋白含有率の品種間差異は極めて小さく、ミカモゴールドンは最も低蛋白のきぬゆたかと5年間の平均で0.7%の差が認められるに過ぎない。こうした点を考えると、大系HC-15は国内の醸造用二条オオムギ系統としては明かな低蛋白を示すものといえる。また、追肥を行った場合にも栽培品種と同程度の差を保ったことから、追肥栽培下でもその低蛋白性を発揮することが期待される。

大系HC-15の蛋白含有率をKarlと比較する

と、5年間の平均で+0.3%の差であった。しかし、Karlはオオムギ縞萎縮病に罹病性の品種であり、縞萎縮病の発生は蛋白含有率を高くする(氏原ら1984, 佐々木ら 1992a)ため、比較にあたっては本病害の発生を考慮する必要がある。オオムギ縞萎縮病が発生した1990年度を除くと、大系HC-15の蛋白含有率はKarlよりも平均で0.8%高くなり、低蛋白性の点ではKarlにやや及ばなかった。

Table 4-4 Protein percentage under top dressed conditions

Cultivar or line	1990		1992
	(A)	(B)	
Daikai HC-15	10.7	11.0	11.3
Mikamo Golden	13.4	12.5	13.8
Misato Golden	13.4	12.8	--
Karl	10.7	--	10.1

(A) : Top dressing in March 7th.

(B) : Top dressing in March 29th.

3 大系HC-15の農業特性と麦芽品質

低蛋白品種の実用面を考える場合には、農業特性及びビール原料としての醸造用品質が一定水準を満たしていることが望ましい。蛋白含有率は穀粒形質、麦芽形質と相互に関連する形質であるため、低蛋白による選抜がこれらに及ぼす影響を考慮する必要がある。本節では、大系HC-15の農業特性と麦芽品質の評価を行うと共に、蛋白含有率を中心とする形質間の関連について考察した。

材料及び方法

大系HC-15、ミカモゴールドン、Karlの3系統・品種を材料として、農業特性を1988年度～1992年度の5年間にわたって調査した。この間の耕種概要をTable 4-5に示した。播種法は1991年度が60cmの畦幅に5cm間隔の三条千鳥播き、その他の年は二条千鳥播きとした。

麦芽品質の検定には、1988年産～1992年産の収穫物を用いた。1988、89年産は60g製麦、1990年産以降は250g製麦とした。品質検定の方法は、栃木県農業試験場栃木分場ビール麦品質改善指定試験地（1989）の分析方法によった。

結果

Table 4-6に供試材料の農業形質を示した。大系HC-15の出穂期は平均でミカモゴールドンと同じ4月20日であったが、登熟期間が長いいため成熟期は4日遅くなった。稈長は90cmでミカ

モゴールドンよりもやや長かった。穂長は6.5cmでミカモゴールドンよりも長く、1穂粒数も3粒多かったが、穂数はやや少なかった。

大系HC-15は耐倒伏性が十分でなく、上位節間で挫折しやすい傾向にあった。千粒重は5年間の平均ではミカモゴールドンより大きかったが、年次によって品種間の逆転がみられた。リットル重、及び粒幅が2.5mm以上の粒の割合を表す整粒歩合はミカモゴールドンとの間に大きな差はみられなかった。大系HC-15のアール当たり子実重は2年間の平均で56.6kgとミカモゴールドンよりやや高く、収穫指数もわずかに高い傾向にあった。Karlはこれらの系統・品種に比べて出穂期と成熟期が遅く、収量、千粒重、リットル重、整粒歩合が著しく劣った。

大系HC-15の麦芽品質のうち、麦芽エキスはミカモゴールドンより平均で2.1%高く、エキス収量も2.3%高かった（Table 4-7）。麦芽全窒素と可溶性窒素は安定して低く、ミカモゴールドンとの差は平均でそれぞれ0.37%、0.22%であった。全窒素に占める可溶性窒素の割合を表すコールバッハ数は、ミカモゴールドンよりやや低い傾向にあった。ジアスターゼ力はミカモゴールドンに比べて平均60WK低かったが、麦芽全窒素で除した値では大きな差はなく、品質の総合評点は同程度かやや高かった。Karlは供試年数が1年のみであったが、麦芽エキスがミカモゴールドンより高く、コールバッハ数もやや高いという特徴を示した。

Table 4-5 Cultivation method

Year	Sowing date	Plot area (㎡)	Fertilizer(kg/10a)			Replication	
			N	P ₂ O ₅	K ₂ O		
1988	October	29	1.2	3.0	8.6	6.0	1
1989	October	28	1.2	5.0	11.3	10.0	1
1990	October	27	1.2	2.0	12.0	10.0	1
1991	November	19	6.0	3.0	12.0	10.0	2
1992	November	1	6.0	2.1	10.7	8.3	2

低蛋白二条オオムギ系統(育種中間母本)の育成

Table 4-6 Comparison of agronomic characters among Daikei HC-15, Mikamo Golden and Karl

Cultivar or line	Year	Heading date	Maturing date	Culm length (cm)	Ear length (cm)	No. of grains per ear	No. of ears /m ²	Degree of lodging	Yield (kg/a)	Harvest index (%)	Pump grain (%)	Liter weight (g)	1000 grain wt. (g)
Daikei HC-15	1988	Apr. 21	--	93	6.9	30	---	---	--	--	67.4	---	--
	1989	Apr. 16	Jun. 3	96	6.9	30	787	2.0	--	---	76.0	---	37.6
	1990	Apr. 17	Jun 11	86	6.4	28	670	3.0	--	---	53.7	---	33.1
	1991	Apr. 22	Jun 12	84	6.1	26	703	0.5	46.2	54.4	90.4	676	40.8
	1992	Apr. 23	Jun 10	93	6.1	28	830	3.0	67.0	52.7	92.5	669	43.6
Mean		Apr. 20	Jun 7	90	6.5	28	748	2.1	56.6	53.6	76.0	673	38.8
Mikamo Golden	1988	Apr. 20	--	84	6.0	24	---	---	---	---	83.6	---	--
	1989	Apr. 16	May 29	92	6.1	27	680	0.0	---	---	69.9	---	34.3
	1990	Apr. 17	May 28	86	5.5	26	912	1.0	---	---	48.4	---	33.4
	1991	Apr. 23	Jun 10	88	6.1	24	624	0.6	47.3	52.5	89.3	663	40.3
	1992	Apr. 22	Jun 8	91	5.9	25	868	2.5	57.9	50.3	89.5	660	41.5
Mean		Apr. 20	Jun 3	88	5.9	25	771	1.0	52.6	51.4	76.1	662	37.4
Karl	1992	Apr. 26	Jun. 17	83	7.4	60	330	0.0	23.5	57.8	51.2	588	31.8
	1993	Apr. 26	---	78	8.5	64	346	0.0	29.0	54.0	54.4	549	29.8
	Mean	Apr. 26	Jun 17	81	8.0	62	338	0.0	26.3	55.9	52.8	569	30.8

Table 4-7 Comparison of malting quality among Daikiei HC-15, Mikamo Golden and Karl

Cultivar or line	Year	Malt extract (%)	Extract yield (%)	Total nitrogen (%)	Soluble nitrogen (%)	Kohlbach index (%)	Diastatic power		Apparent final attenuation	Quality index
							(WK)	(WK/TN)		
Daikiei HC-15	1988	84.2	--	1.85	0.81	43.4	364	197	--	66.0
	1989	84.5	80.0	1.88	0.74	39.3	284	151	--	56.5
	1990	84.0	78.1	1.75	0.83	47.1	257	147	85.7	67.0
	1991	82.7	75.6	1.73	0.72	41.6	232	134	84.0	50.5
	mean	83.9	77.9	1.80	0.78	42.9	284	157	84.9	60.0
Mikamo Golden	1988	81.9	--	2.14	0.94	46.4	372	190	--	58.7
	1989	83.0	78.0	2.30	1.09	47.3	367	160	--	62.5
	1990	81.3	75.0	2.16	0.98	45.3	299	138	83.8	54.4
	1991	80.8	73.9	2.09	0.97	46.3	336	161	83.8	50.1
	mean	81.8	75.6	2.17	1.00	46.3	344	162	83.8	56.4
Karl	1991	82.0	73.3	1.54	0.78	50.4	270	175	84.0	60.8

考 察

大系HC-15はミカモゴールドンより成熟期が遅く、やや穂重型で耐倒伏性が十分でない点を除くと、農業特性はミカモゴールドンに近い系統である。穀粒の特性を表す千粒重、整粒歩合、リットル重については、ミカモゴールドンとの間に顕著な差は認められず、また、収量、収穫指数ともミカモゴールドンと大きな違いはなかった。これまでに大粒品種、多収品種は蛋白含有率が低くなりやすいという報告 (Cox *et al.* 1985, McMullan *et al.* 1988, Corke *et al.* 1989) があるが、大系HC-15の低蛋白性はこれらの影響によるものではないと考えられる。一方、登熟期間が長いという特性は、低蛋白親のKarlと共通する点である。第3章で述べたように、Karlは登熟後期における穀粒への転流量の少なさが低蛋白の一要因となっているため、大系HC-15はKarlの窒素転流特性を部分的に取り込んでいることが示唆される。

大系HC-15の麦芽品質上の特徴として、麦芽エキスの高い点があげられる。比較に用いたミカモゴールドンは、わが国の栽培品種で最もエキスが高い品種の一つであるが、大系HC-15はそれを上回った。同一の交配組合せから派生したF₅世代の系統では、蛋白含有率と麦芽エキスとの間にゆるい負の相関が認められているため (Hsi and Lambert 1954, 宮川ら 1991)、大系HC-15の高エキス特性は低蛋白による選抜の副次効果として得られた可能性がある。窒素関連形質としては、麦芽全窒素と可溶性窒素が共に低く、ジアスターゼ力 (WK) も低かった。しかし、コールパッハ数及び麦芽全窒素で除したジアスターゼ力 (WK/TN) は、ミカモゴールドンとはほぼ同程度であった。これらのことから、大系HC-15は低蛋白性は認められるが、麦芽形質に関連する蛋白の質的な面については栽培品種と大きな差はないと推察される。



Fig. 4-2. Ear and grain of Daikei HC-15.

- A : Mikamo Golden
- B : Daikei HC-15
- C : Karl

V 低蛋白二条オオムギ系統の窒素蓄積並びに低蛋白性の遺伝

1 登熟期間中の部位別窒素含有率の変動

低蛋白オオムギのKarlは、登熟期間中の乾物蓄積量に対する窒素蓄積量の割合が小さく、登熟期後半には転流の絶対量が少なくなるという特徴を持っている(佐々木ら 1992b)。本節では、Karlを母本とする交雑育種により育成された大系HC-15の窒素蓄積に関する特性を解明するため、登熟過程における部位別窒素含有率の変動を調査し、Karl及びミカモゴールドンと比較した。

材料及び方法

供試材料は大系HC-15、ミカモゴールドン、Karlの3系統・品種を用いた。1991年11月19日に、催芽種子を60cmの畦幅に5cm間隔の三条千鳥で点播し、肥料は基肥として窒素、リン酸、カリをそれぞれ10aあたり3kg、12kg、10kg施用した。試験区は1区6m²(0.6m×10m)の2反復とし、標準区と追肥区の2条件を設けた。追肥区は、基肥に加えて1992年3月9日に硫酸を窒素成分で3kg/10a施用した。出穂期の1週間後から2週間毎に各区5株をサンプリングし、穀粒の窒素含有率と100粒重及び止葉の葉鞘、葉身、最上位節間の稈の窒素含有率をそれぞれ測定した。

結果

標準区の出穂期は大系HC-15とミカモゴールドンが4月23日、Karlは5月1日で、追肥区は標準区と同日ないしそれよりも1日遅れた。出穂期から成熟までの日数は、ミカモゴールドンとKarlが48日、大系HC-15が50日であった。

穀粒の乾物重及び窒素含有率の変化をFig.5-1とFig.5-2に示した。大系HC-15とミカモゴールドンの乾物重はほとんど同じ推移を示

し、六条オオムギであるKarlの乾物増加は小さかった。穀粒の窒素含有率は追肥区では標準区よりもわずかに高く推移したが、変化のパターンには大きな差はなかった。大系HC-15とKarlの穀粒の窒素含有率が出穂後1週間から出穂後5週間まで低下し、その後上昇したのに対して、ミカモゴールドンは登熟前期(出穂後1週間~出穂後3週間)で上昇、中期(出穂後3週間~出穂後5週間)には低下、後期(出穂後5週間以降)に再び上昇した。登熟前期と中期の穀粒の窒素含有率の低下は、Karlで約0.5%、大系HC-15で約0.3%であった。Karlは登熟前期における低下の程度が大きく、大系HC-15は中期の低下程度が大きかった。出穂後5週間を経過した時点での大系HC-15の穀粒の窒素含有率は標準区、追肥区でそれぞれ1.53%、1.62%であり、

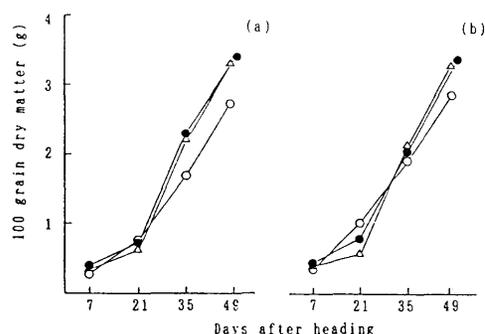


Fig. 5-1. Change of dry matter in grain.
● Daikai HC-15, ○ Karl, △ Mikamo Golden.
(a) : Basal dressing 3kg/10a.
(b) : Basal dressing 3kg/10a + top dressing 3kg/10a.

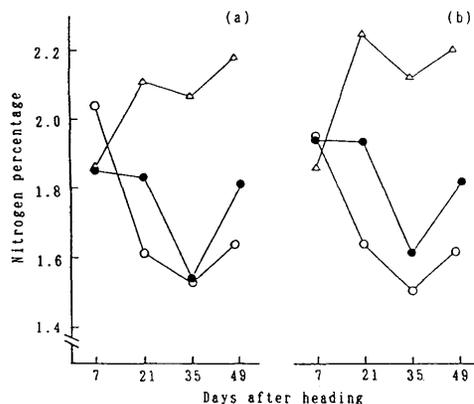


Fig. 5-2. Change of nitrogen percentage in grain.
● Daikai HC-15, ○ Karl, △ Mikamo Golden.
(a) : Basal dressing 3kg/10a.
(b) : Basal dressing 3kg/10a + top dressing 3kg/10a.

低蛋白二条オオムギ系統の窒素蓄積並びに低蛋白性の遺伝

Karl (1.58%, 1.49%) との差は小さく、ミカモゴールドン (2.07%, 2.12%) とは大きな差が見られた。登熟後期の穀粒窒素の上昇程度は、Karlよりも大系HC-15で大きかった。

登熟中期と後期における1日あたりの乾物増加量 (dW) 及び100粒重と穀粒窒素含有率から算出した1日あたり窒素増加量 (dN) をTable 5-1に示した。大系HC-15とミカモゴールドンのdWは、登熟中期に比べて後期で小さかった。追肥区のdWは登熟中期では標準区に比べて低く、後期で高くなった。dWではKarlが他の2品種に比べて小さく、大系HC-15はミカモゴールドンよりわずかに小さかった。dNでは品種間差が明確に現れ、標準区、追肥区とも登熟期間全般を通じてミカモゴールドン、大系HC-15、Karlの順に大きかった。dN/dWでは、登熟中期では大系HC-15とKarlが1.4%前後でミカモゴールドンの2.1%に比べてかなり小さかった。登熟後期の大系HC-15のdN/dWは2.0%以上となり、追肥区ではミカモゴールドンと差がみられたものの、標準区では大きな差は認められなかった。

登熟期間中の葉身、葉鞘及び稈の窒素含有率の変化をFig. 5-3に示した。葉身の窒素含有率は、出穂後1週間では標準区、追肥区ともミカモゴールドン、大系HC-15、Karlの順に高かったが、登熟の進行に伴う減少の程度もこの順に大きかったため、成熟期には順序が逆転した。

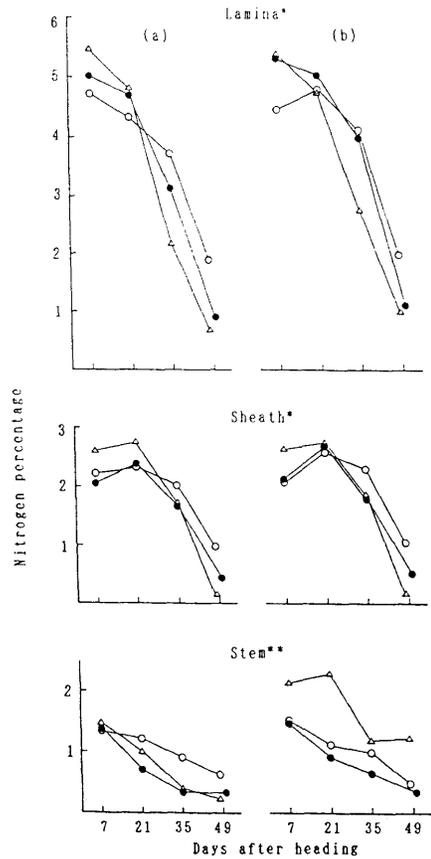


Fig. 5-3. Change of nitrogen percentage in vegetative organs.
 ● Daikei HC-15, ○ : Karl, △ : Mikamo Golden.
 * : Flag leaf, ** : The top internode.
 (a) : Basal dressing 3kg/10a.
 (b) : Basal dressing 3kg/10a + top dressing 3kg/10a.

Table 5-1 Increase in dry matter and nitrogen content in ripening stage

Cultivar or line	Grain dry matter increase per day (dW) (mg)				Nitrogen increase per 100 grains per day (dN) (mg)							
	Middle phase of ripening		Last phase of ripening		Middle phase of ripening				Last phase of ripening			
	(A)	(B)	(A)	(B)	(A)	(B)	(A)	(B)	(A)	(B)	(A)	(B)
Daikei HC-15	111	91	74	87	1.53	1.28	1.77	1.86	1.38	1.41	2.39	2.14
Karl	67	63	79	72	1.04	0.85	1.38	1.31	1.56	1.24	1.74	1.83
Mikamo Golden	114	110	83	88	2.32	2.29	2.00	2.07	2.05	2.08	2.41	2.35

(A) : Basal dressing 3kg/10a of nitrogen fertilizer.

(B) : Basal dressing 3kg/10a and top dressing 3kg/10a of nitrogen fertilizer.

出穂5週間後の大系HC-15の葉身窒素含有率は標準区で3.2%, 追肥区で4.0%で, Karlとの差はそれぞれ0.6%, 0.2%と小さく, ミカモゴールドンとの間には1.0%, 1.2%の差がみられた。しかし, 登熟後期では大系HC-15の低下程度が大きかったため, Karlとの差が広がり, ミカモゴールドンとの差は縮まった。葉鞘の窒素含有率は, 出穂3週間後に2.5%前後と最大になり, その後減少した。減少程度は葉身と同様にミカモゴールドンで最も大きく, Karlで最も小さかった。大系HC-15とミカモゴールドンとの差は登熟後期に拡大する傾向を示した。稈の窒素含有率は, 標準区と多肥区で異なる推移を示し, 標準区ではKarlにおいて登熟の進行に伴う減少度が最も小さく, 大系HC-15とミカモゴールドンとの間には明確な差は見られなかった。追肥区の稈の窒素含有率は, Karlと大系HC-15はほぼ直線的に減少したが, ミカモゴールドンは出穂3週間後に2.3%の値を示すなど標準区と比べて高く推移した。

成熟期における100粒重と100粒あたり窒素量及び穀粒, 葉, 稈の窒素含有率をTable 5-2に示した。大系HC-15は, 100粒重ではミカモゴールドンとの間に有意差が認められなかったが, 100粒あたり窒素量では有意に小さかった。大系HC-15の穀粒の窒素含有率は, 標準区で1.81%, 追肥区で1.82%で, ミカモゴールドンに比べると標準区で0.37%, 追肥区で0.38%低

く, Karlより標準区で0.17%, 追肥区で0.20%高かった。葉身の窒素含有率は, Karlが他の2品種より有意に高く, 大系HC-15とミカモゴールドンとの間には有意差が認められなかった。葉鞘の窒素含有率は, Karl, 大系HC-15, ミカモゴールドンの順に高く, それぞれの品種間に有意差が認められた。稈の窒素含有率は, 標準区ではKarlが他の2品種よりも有意に高かったが, 追肥区ではミカモゴールドンが1.23%と他の2品種より0.7%以上高くなった。

考 察

穀粒の蛋白含有率において品種間変異を生じる要因として, 穀粒乾物重を捉えた報告と穀粒窒素量を捉えた報告とがある。コムギでは開花後の同化産物が多い品種 (Cox *et al.* 1985) や開花時に茎葉部の乾物蓄積が多い品種 (McMullan *et al.* 1988) が穀粒への乾物蓄積が大きく, 穀粒の蛋白含有率は低いとされている。一方, オオムギの低蛋白品種と高蛋白品種の比較では, 低蛋白品種は登熟期間中の茎葉部から穀粒への窒素転流が少ないため, 成熟時には茎葉部の窒素含有率が高いという結果が得られている (Corke *et al.* 1989)。本実験に供試したKarlについては, これまでの研究で低蛋白性が収量の高さに起因するものではなく (Burger *et al.* 1979), 出穂後の穀粒への窒素蓄積量の

Table 5-2 Nitrogen concentration in harvested plants

Cultivar or line	100 grain dry weight (g)		Nitrogen content per 100 grains (mg)		Nitrogen percentage							
					Grain		Lamina ¹⁾		Sheath ¹⁾		Stem ²⁾	
	(A)	(B)	(A)	(B)	(A)	(B)	(A)	(B)	(A)	(B)	(A)	(B)
Daikei HC-15	3.40 ^{b3)}	3.35 ^b	61.6 ^b	60.9 ^b	1.81 ^b	1.82 ^b	0.90 ^b	1.09 ^a	0.44 ^b	0.53 ^b	0.34 ^b	0.36 ^a
Karl	2.72 ^a	2.83 ^a	44.6 ^a	45.7 ^a	1.64 ^a	1.62 ^a	1.89 ^c	1.96 ^b	0.98 ^c	1.04 ^c	0.63 ^c	0.51 ^b
Mikamo Golden	3.30 ^b	3.26 ^b	71.8 ^c	71.9 ^c	2.18 ^c	2.20 ^c	0.70 ^a	0.99 ^a	0.13 ^a	0.17 ^a	0.23 ^a	1.23 ^c

(A) : Basal dressing 3kg/10a of nitrogen fertilizer.

(B) : Basal dressing 3kg/10a and top dressing 3kg/10a of nitrogen fertilizer.

¹⁾ : Flag leaf, ²⁾ : The top internode.

³⁾ : Within columns, means followed by the same letter are not significantly different at the 0.05 level according to Duncan's multiple range test.

低蛋白二条オオムギ系統の窒素蓄積並びに低蛋白性の遺伝

少ないことが低蛋白の要因になっていると考えられている。また、Karlの低蛋白性に関連する要因として、葉身窒素含有率の低下が少なく成熟時の葉身の窒素含量が高いこと、並びに乾物の蓄積に対して窒素の蓄積量が相対的に高い時期であるLFP(Late filling phase)において、Karlは穀粒への転流の絶対量が少ないことが明らかにされている(佐々木ら 1992b)。

Karlを交配親に用いて育成された大系HC-15は、Karlの低蛋白にはやや及ばないものの、わが国の栽培品種に比べて安定的に2.4%程度低い蛋白含有率を示した(佐々木ら 1991)。本実験で明らかになった大系HC-15の特徴は、登熟中期でのdN/dWがKarlと同様に小さいことである。出穂5週間後の大系HC-15の粒あたり窒素蓄積量はミカモゴールドンよりも120~130mg少なくなったが、同じ時期の穀粒の乾物重には大きな差は見られず、大系HC-15の低蛋白性もまた窒素蓄積量の少ないことに起因していると言える。しかしながら、登熟後期の大系HC-15の穀粒窒素の増加量はミカモゴールドンと同程度であり、この時期の窒素量の差がそのまま成熟期での差につながった。同じ時期のKarlのdN/dWは出穂5週間後までと大きく変わらない値を示したため、大系HC-15とKarlとの窒素含有率の差は、登熟後期の蓄積の違いから生じていると考えられる。低蛋白に関して選抜した育成途中の系統(大系HC-1, 大系HC-2)のdN/dWは、登熟中期でKarlと栽培品種との中間、登熟後期では栽培品種と同程度もしくはより大きいという結果が得られている(佐々木ら 1992b)。Karlが持っているLFPの乾物と窒素の蓄積が小さい特性は登熟期間の長さとは結びつくもので、品種育成上は望ましいものではない。低蛋白系統を選抜する過程では晩生系統を淘汰しており、こうした操作がKarlと同様の窒素含有率を持つ系統の選抜を妨げたと推察される。大系HC-15が登熟中期までに限ってdN/dWが

小さいという理由については今後の研究に待たねばならないが、大系HC-15の低蛋白性をさらにKarlに近づけるためには、登熟後期のdWを確保した上でdN/dWが小さい特性を保持する系統を選抜する必要がある。

登熟期間中の穀粒の窒素の増加には、栄養器官からの転流が重要な働きをする(Chatterjee *et al.* 1982, Yoneyama 1983)。本実験では、大系HC-15の穀粒窒素含有率の時期別変化は、葉身の窒素含有率の変化と一致し、穀粒のdNが小さい登熟中期においては葉身窒素含量の減少の程度が小さく、dNが大きくなった登熟後期では大系HC-15の葉身の窒素含有率の低下はミカモゴールドンに近い変化を示した。これは登熟中の窒素のシンク・ソース関係を反映したものであろう。大系HC-15は成熟期における葉鞘の窒素含有率がミカモゴールドンより高い傾向にあったが、Karlに比べて登熟中期、後期とも葉身の窒素含有率の低下が大きかった。このため、登熟中の葉の窒素含有率の低下が少なく、成熟時に葉に多くの窒素を残存するというKarlの特性を受け継いでいないと推察される。

一方、稈の窒素含有率については環境変動が大きく、穀粒の窒素含有率との明確な関係は認められないという報告がある(Welch and Saha 1984)。本実験では標準区と多肥区との間でミカモゴールドンの登熟期間中の変化のパターンが大きく異なった。前述の大系HC-1, 大系HC-2について稈の窒素含有率を測定したところ、いずれもKarlの2倍という高い値であった。これらの系統は低蛋白が安定しなかったため、その後廃棄されている。稈の窒素含有率は葉身、葉鞘からの窒素転流のみならず、根から吸収されて直接穀粒に蓄積される窒素量も反映していると考えられるので、葉身や葉鞘の窒素含有率とは異なる品種特性を示す可能性がある。環境の違いによる稈の窒素含量の変動が蛋白含有率の安定性とどのように関連するのか興味深い。

2 種子貯蔵蛋白質の溶媒分画

ホルデインはオオムギの種子貯蔵蛋白質中で最も多くの割合を占め、蛋白質含有率の上昇に伴ってその割合も増加する (Burger *et al.* 1979). また、ホルデインの蓄積はグルテリンの蓄積よりも時期的に遅いことが知られている (Negut and Tianu 1982). これらの知見は、品種の窒素蓄積パターンの違いによって蛋白質組成に差を生じたことを示唆する. 本節では大系HC-15の種子貯蔵蛋白質を溶媒分画によって画分し、登熟期間中の窒素蓄積との関連を検討した.

材料及び方法

大系HC-15, Karl, ミカモゴールドンの3系統・品種を用いて種子貯蔵蛋白質の組成を比較した. 供試材料は、1991年11月19日に畦幅60cmで5cm間隔の三条千鳥に点播した. 肥料は基肥として窒素, リン酸, カリをそれぞれ10aあたり3kg, 12kg, 10kg施用した.

蛋白質の分画方法は Burger *et al.* (1979) に準じ、サイクロンミルで粉碎したオオムギ粉のうち、140メッシュの篩を通過した微粉500mgについて行った. ジエチルエーテルで脱脂後、水、0.5M塩化ナトリウム、55%イソプロパノール、0.043M水酸化ナトリウムと0.5%ドデシル硫酸ナトリウムを含む0.125Mホウ砂溶液の順に抽出し、それぞれ水溶性蛋白質 (水溶性非蛋

白態窒素を含む)、塩可溶性蛋白質、ホルデイン、グルテリンとした. 抽出溶媒は15mlとし、抽出を3回繰り返した後オートアナライザーで窒素含有率を測定した. 蛋白質含有率は測定した窒素の値に6.25を乗じて求めた. また、抽出残渣についても同様の方法で蛋白質含有率を求めた.

結果

蛋白質分画のために140メッシュの篩を通過させたオオムギ粉の蛋白質含有率は、大系HC-15が10.7%、Karlが9.6%、ミカモゴールドンが12.9%であった (Table 5-3). 分画した蛋白質の種類別ではホルデインで品種間差が最も顕著に表れ、ミカモゴールドンの3.99%に対してKarlは半分以下の1.63%であった. 大系HC-15のホルデイン含有率は3.08%とミカモゴールドンより0.9%低かったが、Karlに比べると1.4%程度高かった. 塩可溶性蛋白質とグルテリンでは、ミカモゴールドンが大系HC-15とKarlよりやや高い傾向を示し、水溶性蛋白質では供試材料間で差がみられなかった. 全蛋白質に占めるホルデインの割合は、ミカモゴールドンでは33%と他の種類の蛋白質の2倍以上であったのに対して、Karlではグルテリンや塩可溶性蛋白質と大きな差が見られなかった. 大系HC-15におけるホルデインの割合は全蛋白質の30%近くを占め、ミカモゴールドンに近い割合を示した.

Table 5-3 Protein composition in Daikei HC-15, Karl and Mikamo Golden

Cultivar or line	Total protein (%)	Water soluble		Salt soluble		Hordein		Glutelin		Residual		Protein recovery (%)
		(A)	(B)	(A)	(B)	(A)	(B)	(A)	(B)	(A)	(B)	
Daikei HC-15	10.7 ^{b1)}	1.85	17.6	1.48 ^a	14.2	3.08 ^b	29.7	1.50 ^a	14.5	2.49 ^a	24.0	97.4
Karl	9.6 ^a	1.89	20.4	1.46 ^a	15.8	1.63 ^a	17.6	1.58 ^b	17.1	2.69 ^b	29.2	96.1
Mikamo Golden	12.9 ^c	1.84	15.3	1.60 ^b	13.4	3.99 ^c	33.3	1.69 ^c	14.1	2.88 ^c	24.0	93.3

(A) : Grams protein/100g barley flour(dry basis).

(B) : Percent of recovered protein.

¹⁾ : Within columns, means followed by the same letter are not significantly different at the 0.05 level according to Duncan's multiple range test.

考 察

大系HC-15の種子貯蔵蛋白質を分画した結果、ホルテイン含有率はミカモゴールドデンよりも低かったが、蛋白質全体に占めるホルテインの割合はミカモゴールドデンよりやや低い程度で、Karlと比較するとその割合は大きかった。ホルテインはオオムギ種子に最も多く含まれる蛋白質であり、通常のビール麦品種はホルテインがグルテリンの2倍以上であるのに対して、Karlではその割合が特異的に低いことが知られている (Burger *et al.* 1979)。ホルテインの蓄積はグルテリンの蓄積よりも時期的に遅い (Negut and Tianu 1982) とされているため、Karlについては登熟後期の窒素蓄積量の少ないことがホルテインの低含量に結びついていると考えられる。また、大系HC-15のホルテインの割合がミカモゴールドデンと大きく違わなかったことは、登熟後半の窒素蓄積に大きな差のないことを裏付けると推察される。ホルテインはオオムギ種子のデンプン粒と密接に結びついており、麦芽の製造過程で全蛋白質中に占める割合は減少するが (Marchylo *et al.* 1979)、麦芽中に含まれるホルテインは仕込工程においてデンプンの糖化効率を低下させる (Slack *et al.* 1979)。このため、麦芽品質の観点からはホルテインの量の低いことが望ましい。大系HC-15の一層の低蛋白化を図るにあたって、登熟期後半のdN/dWの抑制を目標とすることはホルテインの減少につながると考えられるので、麦芽品質上からも好ましいと言える。

3 低蛋白性の遺伝

大系HC-15は低蛋白・高エキスの二条オオムギ系統であるが、耐倒伏性、熟期、ジアスターゼ力などについては未だ不十分であり、実用的な低蛋白品種育成のためには優れた農業特性や麦芽品質と組み合わせる必要がある。本節では、大系HC-15の低蛋白育種母本としての能力を評価するため、蛋白含有率の後代系統への遺伝を検討した。

材料及び方法

低蛋白系統の大系HC-15及び栽培品種きぬゆたかを、それぞれ共通の片親となる関東二条27号、九州二条11号へ交配した。このほか、大系HC-15と大系HD-20との間の交配も行った。これらの交配材料はすべて二条種である。交配後、F₁～F₃世代までは世代促進栽培を行い、F₄を穂別系統として圃場に栽培した。播種日は1992年10月31日、施肥は基肥として窒素、リン酸、カリをそれぞれ10aあたり3kg, 6.5kg, 6kg施用した。成熟期に各交雑組合せから55～56系統をランダムにサンプリングし、穀粒の蛋白含有率の測定を行った。蛋白含有率は、2.5mmのふるい上に残った整粒を対象とし、近赤外分光分析機で測定した。

結 果

交配組合せ別のF₄系統の蛋白含有率の頻度分布をTable 5-4に示した。各交配組合せとも蛋白含有率は単頂状に分布し、極端な分布の偏りは見られなかった。蛋白含有率が9%以下の系統は大系HC-15を片親に用いた組合せにのみ見い出された。特に、大系HC-15と九州二条11号との交配組合せでは9%以下の系統が8系統と高頻度で出現し、蛋白含有率の平均値も10.5%で最も低かった。大系HC-15を片親とした他の2組合せの平均値は11.4%, 11.5%で、きぬゆたかを片親とした組合せの平均値12.5%, 12.6%

よりも低かった (Table 5-5). 共通親を用いている交配組合せを互いに比較すると、大系HC-15はきぬゆたかより九州二条11号との組合せで平均1.9%、関東二条27号との組合せでは平均1.2%低かった。交配組合せ内の蛋白含有率の分散は、大系HC-15を片親に用いた3組合せが1.658, 1.622, 1.629であったのに対して、きぬゆたかを片親とした2組合せでは0.852, 0.639と小さかった。大系HC-15の蛋白含有率の分散を環境分散とみなして各組合せにおける遺伝率を推定したところ、大系HC-15を片親に用いた組合せでは0.654~0.662で、きぬゆたかを片親にした組合せの0.122~0.342に比べてかなり高かった。

考 察

大系HC-15を片親に用いた交配組合せにおけるF₄系統の蛋白含有率は、きぬゆたかを片親とした組合せと同様に単項分布を示した。これは、大系HC-15の低蛋白性がポリジーンにより支配されていることを示唆する。

大系HC-15を片親に用いた交配組合せからは、きぬゆたかを片親とした交配組合せよりも高頻度で低蛋白系統が出現した。また、系統全体の蛋白含有率の平均値が低くなると共に、0.654~0.662と高い遺伝率が得られた。オオムギの蛋白含有率の遺伝率についてはこれまでに多くの報告があるが (Foster *et al.* 1967, Rutger *et al.* 1967, Baker *et al.* 1968, Piper and Rasmusson 1984), 特定の低蛋白系統を交配親に用いることにより遺伝率が高まった例は見あたらない。本研究で得られた結果から、大系HC-15と九州二条11号または関東二条27号との交配では、きぬゆたかとの交配組合せに比べて蛋白含有率の平均値がいずれも1.9%、1.2%低下した。また、遺伝率の高かったことは選抜効果の向上にもつながる。さらに、大系HC-15はKarlと異なりオオムギ縞萎縮病抵抗性を持つ日本型の二条種であるため、低蛋白・高品質を育種目標とする交配母本として有効に利用できると考えられる。

Table 5-4 Frequency distribution of protein percentage in F₄ lines

Parentage		Protein percentage							
		8.1	9.1	10.1	11.1	12.1	13.1	14.1	15.1
Female	Male	8.0	9.0	10.0	11.0	12.0	13.0	14.0	15.0
Daikei HC-15	Kyusyu Nijo 11	8	14	17	9	7	1	0	
Daikei HC-15	Kanto Nijo 27	3	4	14	18	12	3	2	
Daikei HC-15	Daikei HD-20	1	7	12	16	11	8	0	
Kinuyutaka	Kyusyu Nijo 11	0	0	4	14	25	9	3	
Kinuyutaka	Kanto Nijo 27	0	0	1	13	23	17	2	

Figures in the table show number of lines.

Table 5-5 Mean, variance and heritability of protein percentage in F₄ lines

Parentage		No. of lines	Protein percentage		Heritability (%)
Female	Male		Mean (%)	Variance	
Daikei HC-15	Kyusyu Nijo 11	56	10.5	1.658	66.2
Daikei HC-15	Kanto Nijo 27	56	11.4	1.622	65.4
Daikei HC-15	Daikei HD-20	55	11.5	1.629	65.6
Kinuyutaka	Kyusyu Nijo 11	55	12.4	0.852	34.2
Kinuyutaka	Kanto Nijo 27	56	12.6	0.639	12.2
Daikei HC-15		10	9.6	0.561	

VI 総合考察

オオムギの蛋白含有率は麦芽品質に大きく影響を及ぼす。原料オオムギから製品ビールの歩留りを左右する重要形質の麦芽エキスは、蛋白含有率との間に強い負の相関を示す (Anderson *et al.* 1941, Foster *et al.* 1967, Ullrich *et al.* 1975, 倉井ら 1987, Lu and Ding 1991) ほか、高蛋白オオムギは製麦・醸造の各工程で悪影響を及ぼす (Smith 1990, Home 1992)。蛋白含有率と麦芽エキスとの関係を調べた報告の多くは環境相関を扱ったものであり、遺伝相関は弱い (Anderson *et al.* 1941) とされているが、麦芽エキスの安定化のためには多様な環境条件で高蛋白になりにくい品種の育成を図る必要がある。

本研究では、まずわが国の栽培オオムギ品種における蛋白含有率の変動を、データベースに蓄積した育種試験データを用いて解析し、蛋白含有率と農業特性、麦芽品質との関係をそれぞれ検討した。また、低蛋白の二条オオムギ系統を育成するため、低蛋白六条オオムギ品種Karlを材料とした三系交配及び戻交配から二条オオムギの低蛋白系統の選抜を試みると共に、乾物蓄積と窒素転流の観点からKarlの特性を明らかにした。F₉世代で最終的に選抜された低蛋白二条オオムギ系統、大系HC-15を用いて、Karlとの窒素蓄積及び溶媒分画による蛋白質組成について比較を行った。さらに、この低蛋白系統を用いて交配を行い、後代系統の蛋白含有率の分布から遺伝率を求め、低蛋白性の遺伝を検討した。

オオムギの蛋白含有率の環境変動に関してはこれまでに多くの報告があり、窒素の増肥 (Bole and Pittman 1980, Clancy *et al.* 1991)、遅播き (Beard 1961, Zubriski *et al.* 1970)、黒ボク土壌での栽培 (谷内・田谷 1987) によっ

て高蛋白になると言われている。わが国におけるオオムギの低蛋白化に関する研究の多くは施肥法、播種法など栽培条件からのアプローチ (山野・長野 1968, 山野 1969) であり、育種的な面からの報告はない。本研究で明らかにしたように、現在の栽培品種の蛋白含有率の変動の大部分は年次あるいは栽培環境に起因するものであり、品種間差は極めて小さい。ヨーロッパでも低蛋白化を意図した選抜が行われているが、その効果はあまり表れていない (Reiner *et al.* 1975)。これまでの低蛋白品種の育成は、おそらくKarlを材料とした研究に限られている。

Karlは1975年にアメリカ合衆国で育成された醸造用の六条オオムギ品種であり、育成当初から他の栽培品種に比べて2%以上蛋白含有率が低いこと、及び種子貯蔵蛋白質中に占めるホルデインの割合が顕著に低いことが知られている (Burger *et al.* 1979)。一方、低蛋白特性に関する分子生物学的研究から、KarlではホルデインのmRNA量が低くなっていることも明らかにされている (Peterson *et al.* 1987)。しかし、窒素転流の観点からKarlの特性を解析した報告は見あたらない。本研究では、Karlの登熟期間中の穀粒及び葉の窒素含有率の変化をわが国の栽培品種ミサトゴールドと比較した。その結果、Karlは登熟期間全般を通じて穀粒への窒素の転流が少ないこと、登熟期間中の葉の窒素含有率の低下の程度が小さく、成熟期の葉の窒素含有率が高いことを明らかにした。

Karlはわが国の醸造用二条オオムギの低蛋白化を図るための遺伝子源として有用であるが、まず低蛋白性を二条オオムギの系統中へ導入する必要がある。Karlを育成したアメリカ合衆国では、酵素力を重視して六条オオムギを醸造用に用いているのに対して、わが国ではエキス重視から二条オオムギを原料として用いている。二・六条のオオムギはその遺伝的背景の違いが大きく、望ましい形質と不良形質とが結びつい

ている場合も多い。醸造用オオムギでは、オオムギ縞萎縮病に対する抵抗性を中国の六条オオムギ品種「木石港-3」から導入するにあたって、木石港-3の不良形質を除去するため日本型の高品質品種を繰り返し交配した例がある（吉田・田谷 1988）。

本研究ではKarlを材料とした三系交配及び戻交配から低蛋白の二条オオムギの選抜を試みた。KarlはTrail/C17147/Trailと言う交配組合せに由来し、C17147はKarlと同じ低蛋白性を示すが、C17147の両親には同様の特性は認められない。Burger *et al.* (1979) は、Karlの育成場所であるAberdeenではKarlと同様の低蛋白性を持つ系統を育成しており、Rasmussonからの私信としてこの形質は高い遺伝率を示すと言う。また、Sarraf *et al.* (1991) は、オオムギの16組合せのF₁を比較して、Karlを交配親とした組合せでは蛋白含有率とホルデン含有率が有意に低くなるとした。しかし、本研究で扱ったKarlの交配組合せでは、F₄~F₆世代において低蛋白の選抜効果はあまり大きくなかった。

本研究では、F₉代までの連続選抜により低蛋白の二条オオムギ系統である大系HC-15を育成した。大系HC-15は、わが国の栽培品種に比べて蛋白含有率が平均2.4%低く、追肥を行った場合でも同程度の差の期待できることが明らかになった。麦芽品質では高エキスが特徴であり、日本型の醸造用オオムギ系統として条性、熟期、収量性、縞萎縮病抵抗性の面で改良されている。しかし、Karlに比べると低蛋白の点では及ばなかった。また、登熟期間がやや長く、耐倒伏性が不十分で、ジアスターゼ力が低いという欠点がある。従って、実用的な低蛋白の醸造用二条品種育成のためには、さらに良好な農業特性と麦芽品質を付加する必要がある。

オオムギの麦芽品質には、蛋白含有率のみならず蛋白の種類も影響を及ぼす。ホルデンは貯蔵澱粉と密接に結びついて糖化を遅らせる

(Slack *et al.* 1979)。ビール製品の濁りの原因となる蛋白質の多くはホルデンであるとされている (Burger *et al.* 1979)。ホルデンは、電気泳動により分子量が異なるポリペプチドのグループ、B (36~45kD)、C (59~72kD)、D (105kD) に分類され (Shewry *et al.* 1987)、その構造遺伝子は第5染色体上に集中している (武田 1987)。ホルデン中ではBホルデンが重量比で約80%と最も多く、Cホルデンを合わせると全体の95%に達する (Turley and Ching 1986)。Marchylo *et al.* (1979) は、製麦中にDホルデンがB、Cホルデンよりも速やかに分解されるとした。宮川ら (1991) は麦芽にはCホルデンに含まれる60~70kDのサブユニットがわずしか認められず、これが麦芽製造の過程で変化するサブユニットであると考察している。

本研究の溶媒分画による蛋白質組成の比較では、大系HC-15の全蛋白質に占めるホルデンの割合はミカモゴールドに近く、Karlより高いことが明らかになった。ホルデンは登熟後期での蓄積が多いことから、ホルデン含有率の差は大系HC-15の登熟後期の窒素蓄積がKarlよりも大きいことによると推察される。麦芽品質面では、低蛋白、低ホルデンが好ましいため、今後の低蛋白育種においては登熟後期の窒素蓄積の少ない系統の選抜が必要になると考えられる。一方、コムギでは、電気泳動によるコムギの種子貯蔵蛋白質のバンドパターンと品質との関係について研究が進められている

(Payne *et al.* 1983, Greenwell and Schofield 1986, 中村ら 1990, Oda *et al.* 1992)。オオムギでは、ホルデンの電気泳動のバンドパターンと麦芽品質との関係を解析した研究から、何ら (1993) はBホルデンとCホルデンの泳動パターンが異なる品種群にエキス収量、可溶性窒素及びジアスターゼ力の有意な差を認めた。しかし、いくつかの報告では麦芽形

質とホルデインのバンドパターンとの間には明確な関係はないとされ (Skerritt 1988), 宮川ら (1991) がF₅世代の217系統を用いて行った実験でも品質を特定するバンドは見いだせなかった。両者の関係は今後の研究に残された課題であろう。

低蛋白の育種を行う場合, 交配母本に用いる材料による効果や遺伝変異の大きさによる効果を明らかにする必要がある。本研究では, 蛋白含有率はポリジーンによって支配される形質で, 大系HC-15を用いた交配組合せから派生したF4系統は, 他の交配組合せの系統に比べて平均蛋白含有率が低く, 遺伝率も高くなることを明らかにした。大系HC-15は, 醸造用低蛋白オオムギの育成に向けた中間母本として, その活用を期待できる。

本研究で明らかにしたように, オオムギの蛋白含有率は多くの品質評価項目に影響を及ぼす。しかし, 選抜試験で良好な評価を受けた品種であっても, 製麦・醸造工場での生産で好ましくない特性が明らかになる場合がある。栃木県農業試験場で育成されたヤシオゴールドン (瀬古ら 1984) は, 麦汁のろ過性が劣ったため, 広く普及に移されることはなかった。こうした点を改善するためには, 育種試験における品質評価に新たな検定項目を加える必要がある。 β -グルカンは, 種子貯蔵蛋白質の他に麦芽品質に大きな影響を及ぼす物質として知られている (Bourne *et al.* 1982, 加藤ら 1993)。最近では製麦中の β -グルカンの分解程度を簡易に検定できる方法が開発され (Martin and Cantrell 1986), 育種試験でも評価が行えるようになった (楊ら 1991, 佐々木ら 1993)。今後低蛋白性と併せて低 β -グルカンの選抜を行うことによって, 醸造用オオムギの一層の高品質化が図られよう。

Ⅶ 摘 要

本研究は、醸造用オオムギの低蛋白化への品種改良を図る目的で行った。まず、わが国の栽培品種における蛋白含有率の変動要因を、環境変動と品種間差異の両面から解析した。また、低蛋白の六条オオムギ品種Karlの窒素蓄積を説明すると共に、Karlを交配材料とした三系交配及び戻交配からの二条オオムギ低蛋白系統を選抜した。さらに、選抜された低蛋白二条系統を交配親に用いて、蛋白含有率の遺伝を検討した。研究成果を要約すると以下の通りである。

1. 蛋白含有率の変動は年次間差が最も大きく、出穂期、成熟期が遅い年に蛋白含有率が高くなりやすいことが判明した。
2. 栽培品種間でも蛋白含有率に有意差が認められたが、その差は5年間の平均で1%未満であり、環境変動に比べて小さかった。
3. オオムギの蛋白含有率は、麦芽エキス及びコールパッハ数とは負の、麦芽全窒素、可溶性窒素、ジアスターゼ力とは正の有意な相関を示し、蛋白含有率が高くなるほど麦芽品質は低下することが明らかになった。
4. オオムギ品種は、登熟期間のLIP(Linear increase phase)では1日あたりの乾物蓄積量(dW)が大きく、乾物蓄積量あたりの窒素蓄積量(dN/dW)は小さかった。しかし、LFP(Late filling phase)ではdN/dWが大きくなるため蛋白含有率が上昇することが明らかになった。
5. Karlの低蛋白性は、登熟期間を通じてdN/dWが小さいこと、並びにLFPでの転流の絶対量が少ないことによると考えられた。
6. Karlの葉の窒素含有率は登熟期間中の低下が少なく、成熟時には他の品種よりも高いという特徴を示した。
7. Karlは、LP(Lag phase)における葉のプ

ロテアーゼ活性がやや低い傾向にあったが、LIPでは明確な特徴を示さず、葉の窒素含有率の品種間差異をプロテアーゼ活性の差により説明することはできなかった。

8. Karlを交配親とした組合せのF₄~F₆世代における低蛋白の選抜効果は大きくなかった。この理由として、二・六条間の交配のため分離世代ではヘテロ遺伝子座が多く、また、後期になって初めて遺伝子の組換えを起こすことによると考えられた。
9. F₉代で低蛋白・高エキス・縞萎縮病抵抗性の二条オオムギ系統の大系HC-15を育成できた。大系HC-15はKarlの低蛋白にはやや及ばないものの、わが国の二条型品種に比べて蛋白含有率が平均2.4%低かった。
10. 大系HC-15は登熟期間が長く、耐倒伏性は不十分であったが、粒大、収量性がミカモゴールデン並で縞萎縮病抵抗性であり、育種中間母本としてはKarlより優れていた。
11. 大系HC-15は登熟中期まではKarlと同様にdN/dWが小さかったが、後期ではKarlよりも大きい蛋白含有率の上昇を示し、葉の窒素含有率の低下程度もKarlより大きいことが明らかになった。
12. 大系HC-15では、貯蔵蛋白質の溶媒分画により、全蛋白質に占めるホルデインの割合がミカモゴールデンに近く、Karlに比べ高いことが明らかになった。
13. 大系HC-15を片親とした交配組合せからのF₄系統では、他の組合せより蛋白含有率の平均値が低くなり、遺伝率も高まることが明らかになった。本系統は、低蛋白育種の有用な母本として利用できる。

Ⅷ 謝 辞

本論文を作成するにあたり、北海道大学教授木下俊郎博士、同教授中世古公男博士、同教授三上哲夫博士に懇篤なる校閲を賜った。また、本論文のとりまとめにあたっては、九州大学助教授吉田智彦博士に助言と激励をいただいた。Karlを材料とした交配は、栃木県農業試験場栃木分場ビール麦醸造用品質改善指定試験地で行われたものである。元主任の氏原和人氏（現北陸農業試験場企画科長）、前主任の田谷省三博士（現中国農業試験場麦育種研究室長）、研究員の伊藤浩氏（現栃木県農業試験場育種部）、早乙女和彦氏、関口忠男氏（現栃木県環境衛生部）、天谷正行氏（現栃木県農業試験場生物工学部）、小松田美津留氏（元栃木県農業試験場）、倉井耕一氏（現栃木県農業試験場作物部）は、F₇世代までの育成を担当された。研究の遂行にあたっては、ビール醸造用二条大麦品質改善指定試験地の桐生光広氏（現今市農業改良普及所）、加藤常夫氏、神永明氏、大塚勝氏に窒素分析、麦芽分析及び農業特性調査のご協力をいただいた。また、プロテアーゼ活性の測定法に関して、農林水産省食品総合研究所蛋白質研究室長河村幸雄博士に指導をいただいた。種子貯蔵蛋白の溶媒分画法は、農林水産省農業研究センター栄養診断研究室建部雅子氏に助言をいただいた。

ここに各位に対して深甚なる感謝の意を表する。

Ⅹ 引用文献

1. 天羽幹夫・吉田重厚 (1989) ビール“醸造学” 養賢堂 東京 pp.65-116.
2. Anderson, J.A., H.R.Sallans and W.O.S. Meredith (1941) Varietal difference in barley and malts. XII Summary of correlations between 18 major barley, malt and malting properties. Can.J. Res. Sec.C 19:278-291.
3. Baker, R.J., V.M.Bendelow and K.W. Buchannon (1968) Early generation inheritance of malting quality characters. Crop Sci. 8:446-448.
4. Balasaraswathi, R., B.K. φie and H.Doll (1984) The concentration and yield of hordein and some lysine rich proteins as influenced by the *lys* gene of Hiproly barley. Hereditas 100:225-231.
5. Beard, B.H. (1961) Effect of date of Seeding on agronomic and malting quality characteristics of barley. Crop Sci. 1:300-303.
6. Bendelow, V.M. and W.O.S.Meredith (1955) Reliability of prediction tests for malting quality in barley. Can.J. Agr. Sci. 35:252-258.
7. Bhullar S.S. and F.C.Jenner (1985) Differential responses to high temperatures of starch and nitrogen accumulation in the grain of four cultivars of wheat. Aust.J.Pl.Physiol. 12(4):363-375.
8. Bishop, L.R. (1930) The nitrogen content and quality of barley. J.Inst.Brew. 36 :352-362.
9. Bishop, L.R. (1934) The Institute of Brewing Research Scheme. Prediction of extract III. Application of the carbohydrate regularity principle. J.Inst. Brew. 40:75-91.
10. Bishop, L.R. and D.Marx (1934) Regularities in the carbohydrate composition of barley grain. J.Inst.Brew. 40:62-74.
11. Bole, J.B. and U.J.Pittman (1980) Spring soil water, precipitation and nitrogen fertilizer: Effect on barley grain protein content and nitrogen yield. Can.J Soil Sci. 60:471-477.
12. Bourne, D.T., T.Powlesland and E.R. Wheeler (1982) The relationship between total β -gulcan of malt and malt quality. J.Inst.Brew. 88:371-375.
13. Burger, W.C., D.M.Wesenberg, J.E.Carden, III, and P.E.Pawlisch (1979) Protein content and composition of Karl and related barleys. Crop Sci. 19:235-238.
14. Chatterjee, R.S., T.C.Pokhriyal and Y.P. Abrol (1982) Nitrogen economy of the main shoot of field grown barley (*Hordeum vulgare* L.). III. Content of reduced nitrogen in different organs. J. Exp.Bot. 33:876-885.
15. Clancy, J.A., B.A.Tillman, W.L.Pan and S.E.Ullrich (1991) Nitrogen effects on yield and malting quality of barley genotypes under no-till. Agr.J. 83:341-346
16. Corke, H.N., N.Avivi and D.Atson (1989) Pre- and post-anthesis accumulation of dry matter and nitrogen in wild barley (*Hordeum spontaneum*) and in barley cultivars (*H.vulgare*) differing in final grain size and protein content. Euphytica 40 : 127-134.

引用文献

17. Cox, C.M., C.O. Qualset and D.W. Rains (1985) Genetic variation for nitrogen assimilation and translocation in wheat. I. Dry matter and nitrogen accumulation. *Crop Sci.* 25:430-435.
18. Dalling, M.J., G. Boland and J.H. Wilson (1976) Relation between acid proteinase activity and redistribution of nitrogen during grain development in wheat. *Aust. J. Plant Physiol.* 3:721-730.
19. 江幡守衛・玉置雅彦・石川雅士 (1986) 米の品質研究に関する生理・生態学的研究 I たんぱく質の集積と米飯のテクスチャー 日作紀 55 (別2) :135-136.
20. Foster, A.E., G.A. Peterson and O.J. Banasik (1967) Heritability of factors affecting malting quality of barley. *Crop Sci.* 7:611-613.
21. Giese, H., B. Andersen and H. Doll (1983) Synthesis of the major storage protein, hordein, in barley. *Planta* 159:60-65.
22. Greenwell, P. and J.D. Schofield (1986) A starch granule protein associated with endosperm softness in wheat. *Cereal Chem.* 63:379-380.
23. 何克榮・吉田久・早乙女和彦・梶原英之・小松節子・平野久 (1993) ビールオオムギ種子貯蔵蛋白質と麦芽品質 育雑43(1) :81-89.
24. Hartog, G.T.D. and J.W. Lambert (1953) The relationships between certain agronomic and malting quality characters of barley. *Agr. J.* 45:208-212
25. Hejgaard, J. and S. Boisen (1980) High-lysine proteins in Hiproly barley breeding: identification, nutritional significance and new screening methods. *Hereditas* 93:311-320.
26. Hockett, E.A. and N.N. Standridge (1975) Relationship of agronomic and malt characteristics of isogenic Trail to breeding two- and six-rowed barley. *Barley Genet.* III:594-603.
27. Home, S. (1992) Malting quality. *Barley Genet.* VI vol. II:979-983.
28. Hsi, C.H. and J.W. Lambert (1954) Inter- and intra-annual relationship of some agronomic and malting quality characters of barley. *Agr. J.* 46:470-474.
29. 石間紀男・平宏和・平春枝・御子柴穆・吉川誠次 (1974) 米の食味に及ぼす窒素施肥および精米中のタンパク質含有率の影響 食総研報 29:9-15.
30. 伊藤昌光・土井芳憲・石川直幸・加藤一郎・神尾正義・片山正・瀬古秀文・吉川亮・堤忠宏 (1992) 裸麦新品種「サンシュウ」の育成 四国農試研報 55:27-37.
31. Karlsson, K.E. (1975) Linkage studies on the *lys*-gene in relation to some marker genes and translocations. *Barley Genet.* III:536-541.
32. Karlsson, K.E. (1977) Linkage studies in a gene for high lysine content in Riso barley mutant 1508. *Barley Genet. Newslett.* 7:40-43
33. 加藤常夫・武田元吉・佐々木昭博・桐生光広・神永明 (1993) 大麦遺伝資源の β -グルカン含量及び β -グルカナナーゼ活性の変異性と麦芽品質との関係 育雑 43(別1) : 248.
34. 倉井耕一・米内貞夫・石川成寿・藤井敏男・前波健二郎・荒井忠夫・伊藤浩 (1987) 二条大麦「ミサトゴールド」の栽培特性と麦芽品質について 栃木県農試研報 33 :1-16.
35. Lein, A. (1964) Breeding for malting

- barley. *Barley Genet.* I:310-324
36. Lokes, J. (1964) Starting material for the growing of malt barley and some methods of its evaluation. *Barley Genet.* I:363-383.
37. Lowry, O.H., N.J. Rosebrough, A.L. Farr and R.J. Randall (1951) Protein measurement with the folin phenol reagent. *J. Biol. Chem.* 159:265-275.
38. Lu, M. and S. Ding (1991) Genetic analysis of some malting quality traits in two-rowed barley. *Barley Genet.* VI vol. I:481-483.
39. Marchylo, A.B., J.E. Kruger and D. Hatcher (1979) High performance liquid chromatographic and electrophoretic analysis of hordein during malting for two barley varieties of contrasting malting quality. *Cereal Chem.* 63(3): 219-231.
40. Martin, P.A. and I.C. Cantrell (1986) Malt modification by friabilimeter. *J. Inst. Brew.* 92:367-369.
41. 増田澄夫・川口数美 (1968) ビールムギー良質・多収栽培の実際ー農山漁村文化協会 東京 pp.47-97.
42. McMullan, P.M., E.P.B. McVetty and A.A. Urquhart (1988) Dry matter and nitrogen accumulation and redistribution and their relationship to grain yield and grain protein in wheat. *Can. J. Plant Sci.* 68(2):311-322.
43. McNeal, F.H., G.O. Boatwright, M.A. Berg and C.A. Watson (1968) Nitrogen in plant parts of seven spring wheat varieties at successive stages of development. *Crop Sci.* 8:535-537.
44. Meredith, W.O.S., H.R. Sallans and H. Rowland (1942) Prediction of malt diastatic power of hybrid barleys. *Sci. Agr.* 22:761-771.
45. 宮川三郎・佐々木昭博・桐生光広・加藤常夫・神永明・福田暎・早乙女和彦・五月女敏規 (1991) 醸造用オオムギ品種の種子貯蔵タンパク質サブユニットと麦芽品質の変異 栃木農試研報 38:59-70.
46. Munk, L. (1987) Breeding for quality in barley experiences and perspectives. *Barley Genet.* V:753-762.
47. Munk, L., K.E. Karlsson and A. Hargberg (1970) Gene for improved nutritional quality in barley. *Science* 168:985-987.
48. 中村洋・佐々木宏・平野久・山下淳 (1990) コムギ種子貯蔵タンパク質のグルテニンの高分子量サブユニットと品質特性 育雑40(4):485-494.
49. Negut, E.L. and A. Tianu (1982) Accumulation of protein fractions in winter two-row barley grains during growth maturation. *Analele Institutului de cercetari pentru cerealesi plante tehnice fundulea* 49:261-266.
50. 小田閑多・大越進 (1990) 小麦粉の種類と品質 “小麦粉製品の知識” 幸書房 東京 pp.67-98.
51. Oda, S., K. Komae and T. Yasui (1992) Relation between starch granule protein and endosperm softness in Japanese wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars. *Japan J. Breed.* 42(1):161-165.
52. 奥津善章・佐々木昭博 (1984) 陸稲育種におけるデータベース化とその利用 1. 母本評価への利用 育雑34(別1):126-127.
53. 折谷隆志 (1984) 作物の窒素代謝に関する研究 第19報 水稻のSource から Sink への N の転流と蓄積機構について

引用文献

- 日作紀 53:268-275.
54. 大塚雍雄 (1978) 折れ線モデルのあてはめ. 農林計算センター報告 A14:1-31.
55. 大塚雍雄(1980) 育種におけるデータベースの利用 農業技術 35(10):448-453.
56. Payne, P.I., L.M. Holt and G.J. Lawrence (1983) Detection of a novel high molecular weight subunit of glutenin in some Japanese hexaploid wheats. *J. Cereal Sci.* 1:3-8.
57. Peretz, C.M., G.B. Caganpang, B.V. Esmama, R.V. Monserrte and B.O. Juliano (1973) Protein metabolism in leaves and developing grains of rices differing in grain protein content. *Plant Physiol.* 51:537-542.
58. Peterson, D.M., J.E. Dailey and T.C. Osborn (1987) Regulation of hordein synthesis in a low-protein barley cultivars. *Barley Genet.* V:509-514.
59. Piper, T.E. and D.C. Rasmusson (1984) Selection for low protein in barley. *Crop Sci.* 24:853-854.
60. Rao, S.C., and Croy, L.I. (1972) Protease and nitrate reductase seasonal patterns and their relation to grain protein production of 'high' versus 'low' protein wheat varieties. *J. Agric. Food Chem.* 20:1138-1141.
61. Rasmusson, D.C. and R.L. Glass (1965) Effectiveness of early generation selections for four characters in barley. *Crop Sci.* 5:389-391.
62. Reiner, L., F. Schmidt and H. Geiger (1975) Brewing barley in Europe; Yield and quality 1980. *Barley Genet.* III:605-611.
63. Rutger, J.N., C.W. Schaller and A.D. Dickson (1967) Variance and covariance in agronomic and malt quality characters in barley. I. Heritability estimates. *Crop Sci.* 6:231-234.
64. Sarrafi, A., C. Planchon and P. Brigand (1991) Genetic control of yield, grain protein and protein fractions in barley. *Barley Genet.* VI vol. I:443-445.
65. 笹原健夫・高橋征徳・上林美保子(1982) 水稲の穂の構造と機能に関する研究 第3報 登熟期間中における穂重、穂重増加速度およびわら重減少速度. 日作紀 51:18-25.
66. 佐々木昭博・吉田智彦 (1983) 非醸造用大麦育種試験成績のデータベース化とその利用 農業技術 38(5):203-207.
67. 佐々木昭博・大塚雍雄・三輪哲久 (1984) 多重比較サブルーチン 農林水産研究計算センター報告 A20:65-99.
68. 佐々木昭博 (1990) 作物育種と食品加工 [4] ビールオオムギ 農業および園芸 65(4):537-542.
69. 佐々木昭博・桐生光広・加藤常夫・神永明・田谷省三・氏原和人・関口忠男・伊藤浩・早乙女和彦・天谷正行・小松田美津留・倉井耕一 (1991) Karl由来の低蛋白ビール麦系統の育成 栃木県農試研報 38:27-36.
70. 佐々木昭博・桐生光広・加藤常夫・神永明 (1992a) データベース利用による二条オオムギの麦芽品質変動の解析 栃木県農試研報 39:75-86.
71. 佐々木昭博・桐生光広・加藤常夫・神永明(1992b) 低タンパクオオムギ品種Karlおよびその雑種後代系統における穀粒窒素と乾物の蓄積 育雑 42(4):853-862.
72. 佐々木昭博・神永明・加藤常夫・大塚勝 (1993) ビールオオムギ品質検定における浸麦度および発芽日数と麦芽の溶けと

- の関係 育雑40 (別2) :152.
73. 佐々木昭博, 大塚勝・加藤常夫・神永明 (1994) 二条オオムギ低蛋白系統の部位別窒素含有率の変化と種子貯蔵タンパクの分画日作紀 (印刷中)
74. 関口忠男・倉井耕一・瀬古秀文・野沢清一・武田元吉(1983) ビール麦品質の地理的変動 育雑 33 (別1) :302-303.
75. 関口忠男・田谷省三・伊藤浩・桐生光広・天谷正行・氏原和人・倉井耕一 (1988) 醸造用二条オオムギにおける麦芽品質の遺伝力と初期世代の品質選抜の可能性 育雑38 (別1) :366-367.
76. Seko, H. and I. Kato (1981) Breeding for high-lysine hull-less barley. *Barley Genet.* IV:336-340.
77. 瀬古秀文・氏原和人・藤井敏男・関口忠男・伊藤浩・小林俊一・早乙女和彦・桐生光広・北原操一・武田元吉・野中舜二・川口数美・倉井耕一・鈴木崇之・大橋一夫・吉沢朋子・若田部紀国・久保野実・山野昌敏 (1985) 二条大麦新品種「ヤシオゴールド」について 栃木県農試研報 31:11-28.
78. Shewry, P. R., M. S. Williamson, S. Parmer, S. R. Burgess, B. Buxton and M. Kreis (1987) The biochemical and molecular genetics of barley seed proteins. *Barley Genet.* V:433-443.
79. 下野勝昭 (1986) 秋播小麦の栄養生理と窒素肥培管理法に関する研究 道立農業試験場報告 57:1-80.
80. Skerritt, J. H. (1988) Hydrolysis of barley endosperm storage protein during malting I. Analysis using monoclonal antibodies. *J. Cereal Sci.* 7:251-263.
81. Slack, P. T., E. D. Baxter and T. Wainwright (1979) Inhibition by hordein of starch degradation. *J. Inst. Brew.* 85:112-114.
82. Smith, D. B. (1990) Barley seed protein and its effects on malting and brewing quality. *Plant Varieties and Seeds* 3: 63-80.
83. 早乙女和彦・星川清親・伊藤浩・宮川三郎(1991) 醸造用二条オオムギの硬質粒に関する研究 栃木県農試研報 38:37-58.
84. Sparrow, D. H. B. (1970) Some genetic aspects of malting quality. *Barley Genet.* II:559-574.
85. 高橋隆平・林二郎・守屋勇 (1975) 二・六条品種間交雑による大麦育種に関する研究 I. 二条及び六条遺伝子の農業形質に及ぼす影響 育雑 25(6):334-342.
87. 武田元吉・関口忠男・倉井耕一・瀬古秀文 (1981) 少量麦芽製造法とその大麦育種における品質選抜への応用 育雑 31(4): 414-422.
88. 武田元吉 (1987) 飼料および醸造形質の遺伝 遺伝 41(5):30-33.
89. 田中國介 (1991) 物質貯蔵 “物質の輸送と貯蔵” 朝倉書店 東京pp.166-190.
90. 谷内賢三・田谷省三 (1987) 黒ボク土壌がビール麦の粗蛋白含量に及ぼす影響. 日本作物学会関東支部会報 2:49-50.
91. 栃木県農業試験場栃木分場ビール麦品質改善指定試験地 (1989) 品種改良のためのビール麦品質検定法(2).
92. Turley, R. H. and T. M. Ching (1986) Storage protein accumulation in 'Scio' barley seed as affected by foliar applications of nitrogen. *Crop Sci.* 26: 778-782.
93. 氏原和人・藤井敏男・野沢清一・関口忠男・千葉恒夫 (1984) 大麦萎縮病とビール麦品質 育雑 34 (別1) :302-303.
94. Ullrich, S. E., C. N. Coon and J. M. Sever

引用文献

- (1975) Relationships of Nutritional and malting quality traits of barley. *Barley Genet.* IV:225-233.
95. Ulmer, R.L., R. Zytyniak and P.H. Hoskins (1984) Relationship between malt protein content and other malting quality. *Barley Newslett.* 27:66.
96. Wallace, W. and R.C.M. Lance (1988) The protein reserves of the barley grain and their degradation during malting. *J. Inst. Brew.* 94 (6):379-386.
97. Welch, R.W. and N.K. Saha (1984) Variation in the partitioning of the N within the mature barley plant and its relationship to grain N content. *Barley Newslett.* 27:63.
98. Wesenberg, R.M., R.H. Hayes, N.N. Standridge, W.C. Burger, E.D. Goplin and F.C. Petr (1976) Registration of Karl barley (Reg.No.147). *Crop Sci.* 16:737.
99. 山野昌敏・長野洋司(1968)ビール麦の品質収量におよぼす施肥量および播種量の影響について 栃木県農試研報 12:45-55.
100. 山野昌敏 (1969) 二条大麦における穀粒粗蛋白含量の環境による変異について -品質検定法確立のために- 栃木県農試研報 13:43-52.
101. 山下鏡一・藤本亮夫 (1974) 肥料と米の品質に関する研究 4 窒素肥料による精米のタンパク質の変化と食味との関係 東北農試研報 48:91-96.
102. 楊煜峰・加藤常夫・佐々木昭博 (1991) ビール麦における溶けの品種間差異 日本作物学会関東支部会報 6:51-52.
103. Yoneyama, T. (1983) Distribution of nitrogen absorbed during different times of growth in the plant parts of wheat and contribution to the grain amino acid. *Soil Sci. Plant Nutr.* 29(2):193-207.
104. 米山忠克 (1987) 同化産物(炭素・窒素)の転流と植物生産 “植物生産性の生理生化学” 博友社 東京 pp.107-148.
105. 吉田久・田谷省三 (1988) オオムギ縮萎縮病抵抗性育種における醸造用二条オオムギの栽培性と品質の動向 育雑 38(別1):458-459.
106. Yoshida, T. and A. Sasaki (1983) Construction and use of a database from barley breeding records. *Barley Newslett.* 26:108-111.
107. Zubriski, J.C., E.H. Vasey and E.B. Norum (1970) Influence of nitrogen and potassium fertilizers and dates of seeding on yield and quality of malting barley. *Agr. J.* 62:216-219.

Summary

It has been known that total protein content adversely affects malting performance. In Japan, protein content of malting barley is required to be between 9.5% and 11.5% by brewing industry, but the farmer's product of dominant cultivars often shows more than the upper limit of the range. Therefore, it is important to develop cultivars with low protein in barley breeding. The six-rowed malting barley, Karl, is of great importance as breeding material because it contains consistently lower protein than other cultivars. The objectives of the present study are to clarify the characteristics associated with nitrogen translocation of Karl and to introduce the property of low-protein content to Japanese two-rowed malting cultivars. The protein fluctuation, the effect of selection for low-protein, and protein composition of low-protein cultivars were also studied.

Results obtained are summarized as follows.

1. Protein content proved to be largely environmentally determined. The correlation coefficient between protein percentage and time of maturity was 0.42 in the cultivar, Amagi Nijo.
2. Protein content varied slightly among Japanese commercial cultivars. The maximum difference of protein percentage among the cultivars was 0.8%.
3. The higher is protein content of grain, the lower is quality of malt. Protein percentage was positively correlated with total nitrogen, soluble nitrogen and diastatic power and negatively correlated with malt extract and Kohlbach index.
4. The increase ratio (dN/dW) of grain nitrogen to grain dry matter was higher in the LFP (Late filling phase) than in the LIP (Linear increase phase). Accordingly, protein percentage of grain increased in the LFP.
5. In Karl, the dN/dW was relatively low both in the LIP and in the LFP. Karl accumulated less dry matter and nitrogen than the check cultivar, Misato Golden in the LFP. Consequently, the grain protein percentage in Karl was 3.1% lower at maturity than in Misato Golden.
6. Karl retained more nitrogen in its vegetative organs at maturity than Misato Golden. This lower decrease of nitrogen percentage in vegetative organs is most likely to be associated with the low dN/dW ratio in Karl.
7. No clear differences in the acid protease activity were observed in the leaves between Karl and Misato Golden. Further studies should be carried out to analyze the factor(s) responsible for the lower reduction of the nitrogen content of the leaves in Karl.
8. Seventeen crosses were made between Karl and Japanese malting cultivars. The selection for low protein in the crosses was not effective in the F₄ and F₅ generations.
9. Continuous selections for low protein led to successful development of a two-rowed

Summary

low-protein malting cultivar, Daikei HC-15, that possessed resistance to Barley Yellow Mosaic Disease. Daikei HC-15 averaged 10.8% protein content in five years of testing, compared with 13.2% for the check cultivar, Mikamo Golden.

10. Daikei HC-15 was superior to Karl in yield, grain size and earliness. Daikei HC-15 was higher than Mikamo Golden in malt extract, but lower in diastatic power and soluble nitrogen.

11. Daikei HC-15 showed low dN/dW ratio in the middle phase of the ripening period. There was no clear difference between Daikei HC-15 and Karl for grain protein content at a mid-filling. However Daikei HC-15 was higher protein content than Karl at maturity, because dN/dW ratio differed between the cultivars in the last phase of the ripening period.

12. Karl showed markedly lower hordein concentration than Mikamo Golden. Daikei HC-15 was intermediate in hordein concentration between the two cultivars.

13. Three crosses were made between Daikei HC-15 and Japanese malting cultivars. The mean values of the protein content were 1.2%-1.9% lower in the F_4 progenies selected than in other F_4 progenies. The heritabilities for grain protein content were 65%-66% in the F_4 progenies.