

ビールオオムギにおける大麦縞萎縮病抵抗性遺伝子集積品種の 育成とその普及に関する研究

五月女 敏範

目次

総合要旨	1
要旨	2
Summary	4
第1章 序論	6
第2章 栃木県育成ビールオオムギ品種の家系分析	7
第3章 大麦縞萎縮ウイルス系統の主産地における発生状況と育種的対応	17
第1節 栃木県における主要大麦縞萎縮ウイルス系統の発生状況	17
第2節 新たに見出された大麦縞萎縮ウイルス系統	19
第4章 エステラーゼアイソザイムを利用した大麦縞萎縮病抵抗性遺伝子の集積法	23
第1節 大麦縞萎縮病抵抗性遺伝子の推定と集積法	24
第2節 大麦縞萎縮病抵抗性遺伝子集積品種スカイゴールデンの育成	31
第5章 栃木県における高品質安定生産を目指したビールオオムギの普及	35
第1節 栃木県内の大麦縞萎縮病の発生状況に対応した品種の普及	35
第2節 ビールオオムギ生産における課題と高品質安定生産のための栽培技術の確立	37
第3節 栃木県におけるスカイゴールデンの普及	44
第6章 総合考察	49
引用文献	50
謝辞	55

総合要旨

ビールオオムギの安定生産を目指し、大麦縞萎縮病抵抗性遺伝子集積品種の育成と普及を行った。

栃木県農業試験場で育成したビールオオムギ品種について家系分析を行った結果、はるな二条と育成品種の近縁係数が高く、醸造適性だけでなく収量や成熟期にも影響を与えていること、また、大麦縞萎縮病抵抗性遺伝資源木石港3やはがねむぎとの近縁係数は0.008~0.078と低いことを、明らかにした。

ビールオオムギ主産地の栃木県において大麦縞萎縮病の発生状況を調査した結果、県南地域では大麦縞萎縮ウイルス III 型が常発化していることを、また県中北地域では I 型が発生していることを確認し、これまで普及していた品種では安定生産が望めないことを明らかにした。さらに、大田原市において I~III 型抵抗性遺伝子 *rym3* を犯す IV 型と、山口県山口市で V 型を発見した。I~V 型抵抗性のビールオオムギ品種育成のためには、抵抗性遺伝子 *rym3*, *rym5* の集積が重要と考えられた。

エステラーゼアイソザイム *Est1-Est2-Est4* の遺伝子型と大麦縞萎縮病汚染圃場を用いて、*rym3* と *rym5* の集積法を開発した。本法を用いて、ビールオオムギ品種で初めて全ての大麦縞萎縮ウイルスに抵抗性で、醸造用品質が優れ多収のスカイゴールデンを育成した。

大麦縞萎縮病の発生状況からスカイゴールデンの普及が必要と考え、生産者履歴等を解析した結果、適期播種、土づくり等基本技術は約半分程度しか励行されていない等の課題を明らかにした。加えて、苦土炭カル 100kg/10a と苦土重焼燐 60kg/10a の施用による粗タンパク質含量低減化高品質多収技術を確立した。これらを基に、那須地方で栽培技術の徹底を指導した結果、特に不適正とされる粗タンパク質含量 12.0% 超の生産者の割合は 2003~2006 年の平均 19.2% から 2007 年 2.7%、2008 年 13.0% と減少させることができた。

さらに、県南地域および県北地域を中心に普及に努めた結果、スカイゴールデンは 6,639ha、栃木県の作付品種割合で 71.3% (以上 2008 年産) まで普及した。

要 旨

1. ビールオオムギ生産において最も重大な病害は、オオムギ縞萎縮ウイルス Barley yellow mosaic virus による土壤伝染性の大麦縞萎縮病で、本病により著しい減収や醸造用品質が低下する。近年、その病原ウイルスの系統分化や抵抗性となる遺伝子が明らかになってきた。
そこで、ビールオオムギの安定生産を目指し、はじめに栃木県育成ビールオオムギ品種について家系分析を行い、大麦縞萎縮ウイルス系統の発生状況の把握、大麦縞萎縮病抵抗性遺伝子集積法の開発と品種の育成、そして品種の普及に関して研究を進めた。
2. 栃木県農業試験場で育成されたビールオオムギ品種について、家系分析を行った。育成品種と祖先品種および主要品種との近縁係数を計算した結果、はるな二条との近縁係数が最も高く（平均 0.457）、次いでミサトゴールドン（同 0.442）、ゴールドンメロン（同 0.396）で、大麦縞萎縮病の抵抗性遺伝資源の木石港 3、はがねむぎと育成品種との近縁係数は 0.008～0.078 と低いことが判明した。
3. はるな二条は、醸造適性だけでなく収量や成熟期にも影響を与えていることを明らかにした。近縁係数を用いてクラスター分析を行った結果、育成品種は 3 群に分類ができ、遺伝的多様性は育成当初からあまり広がっていないと推察された。育成品種の遺伝的背景を拡大するためには、新たな遺伝資源の探索・導入を図るとともに家系図や近縁係数を考慮しながら育種計画を立てることが重要と考えられた。
4. ビールオオムギ主産地の栃木県における大麦縞萎縮ウイルス系統の発生調査を行った。その結果、栃木県南地域では III 型系統が常発化していること、県中北地域では I 型が発生していることを確認した。また、栃木県大田原市では大麦縞萎縮ウイルス I～III 型抵抗性遺伝子 *rym3* を犯す系統を発見した。
5. 栃木県大田原市で見出された大麦縞萎縮ウイルス系統は *cort protein* の塩基配列およびアミノ酸配列から IV 型、山口新型系統は品種の反応（病原性）、相同性、分子系統解析の結果新しい V 型であることを明らかにした。
6. スカイゴールドン、中泉在来（以上大麦縞萎縮病抵抗性遺伝子は *rym3* と *rym5*）、木石港 3（同 *rym1* と *rym5*）、は、大麦縞萎縮ウイルス I～V 型のいずれにも抵抗性を示し、抵抗性育種に有効であり、大麦縞萎縮病抵抗性ビールオオムギ品種育成のためには、*rym3*、*rym5* の集積が重要と考えられた。
7. 大麦縞萎縮病抵抗性遺伝子 *rym3* と *rym5* との集積を目的として、*rym3* と *rym5* を持つ品種との交雑後代において、エステラーゼアイソザイム遺伝子 *Est1-Est2-Est4* の遺伝子型と大麦縞萎縮病汚染圃場を用いることにより *rym3* と *rym5* とを集積した品種の選抜法を開発した。その誤選抜率は約 4.9% で品種育種上有効と考えられ、本法により効率的に *rym3* と *rym5* とを集積した品種や *rym3* を持つ品種の選抜を可能とした。
8. *rym3* と *rym5* を持つ品種との交雑後代において農業形質で選抜を行うことにより *rym3* の出現頻度が有意に低く歪むことを明らかにした。

9. 抵抗性品種を育成する上で、大麦縞萎縮ウイルス系統毎の汚染圃場の確保と維持は困難である。また、これまでの高品質ビールオオムギ品種のほとんどが *rym5* を持っており、それらと *rym3* を持った品種との交雑により *rym3* を持った品種を育成する場合、多く存在している I 型の圃場においては *rym5* および *rym3* の両方が抵抗性反応を示すため、*rym3* を持った品種や *rym3* と *rym5* とを集積した品種を効率的に育成することは困難となっていた。
10. そこで、エステラーゼアイソザイムを利用した大麦縞萎縮病抵抗性遺伝子の集積法を用いて、*rym3* と *rym5* とを集積したスカイゴールドを育成した。スカイゴールドは、粗タンパク質含量が高くなりやすいが、大麦縞萎縮病抵抗性に加えて、耐倒伏性に優れ、多収で整粒歩合が高く、うどんこ病にも抵抗性で、またエキスが高く、優れた醸造用品質を有し、ビールオオムギの安定多収高品質生産に寄与できるものと推察された。
11. 栃木県南地域では大麦縞萎縮ウイルス III 型が常発化していることから、現在普及しているミカモゴールドでは罹病し安定生産が望めず、県北地域では、なす二条では I 型の激化や IV 型の発生により、またミカモゴールドでは整粒歩合が低く安定生産が図れないことから、両地域では I~IV 型に抵抗性で整粒歩合の高いスカイゴールドの作付けを進める必要があると考えられた。
12. スカイゴールドの普及にあたり、欠点である粗タンパク質含量が高くなる場合があるため、ビールオオムギ生産現場の課題を調査した。恒常的に粗タンパク質含量が高い那須地方の生産者 235 名の生産者履歴等を解析した結果、適期播種、土づくり等基本技術の励行は約半分程度しか行われていないことが判明した。さらに、高品質多収技術として苦土炭カル 100kg/10a と苦土重焼燐 60kg/10a 以上の施用を行うことにより、粗タンパク質含量の低減化と収量の向上が図れることを明らかにした。
13. スカイゴールドの栽培にあたり、栽培指針の策定、全ての生産者を対象に栽培講習会、生育情報および対策資料の配付、刈取指導会の実施に加えて、粗タンパク質含量の分析値および栽培履歴に基づいた個別指導会を実施し、生産者に品種特性の理解と高品質多収栽培技術の実践に努めた結果、特に不適正とされる粗タンパク質含量 12.0% 超の生産者の割合は 2003~2006 年の平均 19.2% から 2008 年 2.7%、2009 年 13.0% と減少し、地方別の順位では 9 地方中 8~9 位から 5, 7 位と向上した。
14. 栃木県においてスカイゴールドの普及が必要と考え、県南地域および県北地域の大麦縞萎縮病常発地帯を中心に普及面積を拡大し、実需者の要望に従う高品質ビールオオムギの生産に努める様に指導を徹底した結果、目標作付面積 2500ha から 6639ha (2008 年産)、栃木県の品種割合で 71.3% (同) まで普及し、栃木県における大麦縞萎縮病発生面積は 1982 年からの調査史上初めてその被害は皆無となった。
15. このようにして、本研究では栃木県における大麦縞萎縮病の発生状況を調査し、新しい大麦縞萎縮ウイルス IV 型および V 型を見出した。これらに対応した抵抗性品種育成のために、大麦縞萎縮病抵抗性遺伝子 *rym3* と *rym5* の集積法を開発し、スカイゴールドを選抜、育成した。スカイゴールドの普及にあたり、ビールオオムギ生産現場における課題を明らかに、高品質多収栽培法を確立し、生産者に徹底指導に努めた結果、スカイゴールドの普及と大麦縞萎縮病の抑制をすることができた。本成果は、今後ビールオオムギの安定生産に大きく寄与するものと考えられる。

Studies on Breeding of Malting Barley with Pyramided Barley Yellow Mosaic Virus Resistance Genes and the Extension of the New Resistant Cultivar

Toshinori SOTOME

Summary

The pedigree of two-rowed malting barley lines bred at Tochigi Prefectural Agricultural Experiment Station (breeding lines) was analyzed. The ancestors with greatest genetic contribution to the breeding lines were Harunanijo (average coefficient of parentage was 0.457). The coefficients of parentage among the breeding lines were 0.115~0.856. Cluster analysis based on these values showed a narrow genetic background among these breeding lines. Harunanijo contributed to many agronomic traits and malting quality. The coefficients of parentage between the breeding lines and parents used for disease resistance were very low at 0.125~0.008. It is necessary to introduce and efficiently use new parental materials to expand the genetic background. Studies considering the coefficients of parentage and genealogical trees could contribute to more effective breeding.

Before extension of a brand-new and first cultivar 'Sukai Golden', which is resistant to all of Barley yellow mosaic virus (BaYMV) strains of I, II and III, an occurrence of BaYMV strains in Tochigi prefecture was investigated for the extension of the cultivar. The strain I and III were spreading in the northern and southern areas of Tochigi prefecture, respectively, showing inadequate resistance of currently cultivated cultivars. In addition, Ootawara strain was emerged in Ootawara-city that shows different pathogenicity from the existing strains. It damages BaYMV resistance gene *rym3*. These isolates were used for reaction tests to barley cultivars, homology analyses using nucleotide and amino acid sequences, and molecular phylogenetic analyses, revealing that Ootawara and Yamaguchi strains were distantly related to the three strains, and classified as strain IV and V, respectively. Strain IV and V were distinguishable by using test cultivar 'Hayakiso 2' or using 'Urakoukawamugi 3' and 'Sangatsu'. 'Sukai Golden' and 'Mokusekko 3' show resistance to all strains, I to V, meaning that these are useful for breeding virus-resistant cultivars. A accumulating resistance genes, *rym1*, *rym3* and *rym5*, is important for future of malting barley breeding program.

BaYMV resistance genes, *rym3* and *rym5*, were pyramided using esterase isozyme genes (*Est1-Est2-Est4*), whose loci had been reported to be tightly linked with *rym5*. BaYMV reaction was also evaluated in the field contaminated with BaYMV strain I (to which cultivars with *rym5* and *rym3* are resistant) or III (to which cultivars with *rym5* is susceptible). Crossings were made between malting barley cultivars having *rym5* with esterase isozyme pattern *Ca-null-Nz* (Mokusekko-type) and cultivars having *rym3* with *Pr-Fr-Su* (Prior-type). Selection of resistant lines in the field contaminated with BaYMV I with the esterase isozyme genotype of *Pr-Fr-Su* (Prior-type) gave lines with *rym3*. Selection of resistant lines in the field contaminated with BaYMV III with esterase isozyme genotype of *Ca-null-Nz* (Mokusekko-type) gave lines pyramided with *rym5* and *rym3*, in which the crossing-over rate was about 4.9%. During the selection by agronomic characters, the frequency of

rym3 was lowered significantly. And a new malting barley cultivar 'Sukai Golden' with pyramided BaYMV resistance genes, *rym5* and *rym3*, was developed that adapted for it. It has excellent agronomic characters of early-maturing, superior lodging resistance, high yield and high malting quality.

As a situation of occurrence of BaYMV in Tochigi prefecture, the extension of 'Sukai Golden' is necessary, so at first the cultivation regime of agricultural products at Nasu district was analyzed. The result show that the practice of basic technique, such as optimum sowing time, soil improvement and so, is conducted by only half farmers, resulting high protein content not suitable for malting barley. The author recommended a high quality and high yielding technique, for the protein content being reduced, by the application of magnesia charcoal Cal 100kg/10a and magnesia multiphosphate 60kg/10a. Through these recommendations, the ratio of farmers of products more than 12.0% of protein contents, which was be considered to be particularly improper, successfully decreased, from an average of 2003-2006 of 19.2%, to 2.7% in 2007 and 13.0% in 2008.

Furthermore, as a result of having tried this extension around south prefecture area and north prefecture area, the planted area of 'Sukai Golden' has spread up to 6639ha, the ratio of planted area up to 71.3%.

第 1 章 序論

我が国において、本格的なビール醸造は 1869 年から開始された。当初その原料となる麦芽は全て輸入に頼っていたが、1876 年に北海道の札幌麦酒製造所が農家や屯田兵と特約栽培を行い、我が国のビールオオムギ生産が始まった。その後、本州でも契約栽培が開始され、大正末期には 1 道 28 府県にて生産が行われるようになった。栃木県におけるビールオオムギ生産は、1901 年頃から始められ、1906 年に北海道、大阪、京都、千葉、埼玉に次いでビール会社と耕作者との契約栽培にて生産され、1917 年以降は全国一の生産県となっている(増田ら 1993)。2008 年での国内における栃木県産ビールオオムギの割合は 42.5%で(栃木県農政部 2009)、栃木県での生産の安定は我が国のビールオオムギ生産における重要な課題となっている。また、ビールオオムギはビールの主原料として利用されるが、ビールは常に銘柄に応じた同一な味や品質で製造しなければならないことから、ビールオオムギは安定して優れた品質と生産が要求されている。

一方、我が国のビールオオムギ生産において最も重大な病害は大麥縞萎縮病で、本病に罹病すると著しい減収や醸造用品質の低下を招く(藤井ら 1984, 氏原ら 1984, 渡辺ら 1995, 山口ら 2002)。最近では、我が国だけでなくヨーロッパや韓国の冬作オオムギにおいても重要な病害になっている(Friedt and Foroughiwehr 1987)。本病は藻菌類の *Polymyxa graminis* により媒介されるオオムギ縞萎縮ウイルス Barley yellow mosaic virus による土壌伝染性のウイルス病であり(遠山・草葉 1970)、抵抗性品種を作付する以外に確実な防除手段はない(大兼ら 1988, 渡辺ら 1995)。本病に対する抵抗性遺伝資源の探索の結果、多数の抵抗性品種および抵抗性遺伝子が見いだされており(高橋ら 1966, 1970, Kawada and Tsuru 1987, Kawada 1991, Konishi ら 2002), *rym1* (旧表記 *Ym* (Konishi 2000)), *Rym2*, *rym3* (同 *ym3*), *rym4* (同 *ym4*), *rym5* (同 *Ym*), なす二条(寺村ら 1990), *rym6*, *rym7*, *rym7t*, *rym8*, *rym9*, *rym10*, *rym11*, *rym12* 等が報告されている。

ビールオオムギにおける大麥縞萎縮病抵抗性品種育成は 1964 年から始められ(増田ら 1993, 栃木県農業試験場栃木分場 2006)、1985 年に木石港 3 由来の第 3 染色体長腕上に座する抵抗性遺伝子 *rym5* (Konishi and Kaiser 1991) を持った世界初抵抗性ビールオオムギ品種ミサトゴールドが育成され(Kobayashi ら 1987)、その後も *rym5* を持つ多くの抵抗性品種が育成された結

果、病害の防除とビールオオムギの安定生産に大きな成果を上げてきた。

日本国内に多く存在している大麥縞萎縮ウイルスの多くは I 型である(柏崎 1990) が、近年ウイルスの系統分化が明らかになり(宇杉ら 1985, Kashiwazaki ら 1989)、各種品種(抵抗性遺伝子)との反応により、大麥縞萎縮ウイルス I, II, III 型(以下, I, II, III 型)に分類され、さらに *rym3* を持ったオオムギ品種を犯す新型の系統(以下, 山口系統)が山口県山口市で発見されている(五月女ら 1997) が、分類上は未同定である。

ビールオオムギで抵抗性遺伝子として利用されてきた *rym5* を持つ抵抗性ビールオオムギ品種を犯す III 型は、栃木県をはじめとする北関東のビールオオムギ主産地で被害が拡大している(戸嶋ら 1991, 五月女ら 1997)。その結果、従来の *rym5* を持つ大麥縞萎縮病抵抗性ビールオオムギ品種では、その安定生産は望めなくなっている(山口ら 2002)。一方、*rym3* は III 型に抵抗性を示し(Kashiwazaki ら 1989)、1980 年より *rym5* 以外の新しい大麥縞萎縮病抵抗性遺伝子としてその導入が図られてきた(藤井ら 1981)。しかし、この *rym3* を持ったビールオオムギ品種は育成されていなかったため *rym3* を持つ品種あるいは *rym3* と *rym5* とを集積した品種育成が強く望まれていた(五月女ら 1996)。在来、抵抗性品種と罹病性ビールオオムギ品種との交配による品種育成では *rym5* の場合、南系 B4641 (Seko 1987) や Resist-Ym No.1 (Muramatsu 1983) 等の中間母本の育成までに 5~8 年を要し、普及品種ができるまでに 20 年以上を要している(吉田ら 1988)。抵抗性品種を育成する上で、大麥縞萎縮ウイルス系統毎の検定圃場が利用できれば選抜効率は高まるが、土壌伝染性ウイルス病では単一系統の汚染圃場の確保と維持は困難である。また、これまでの高品質ビールオオムギ品種のほとんどが *rym5* を持っており、それらと *rym3* を持った品種との交雑により *rym3* を持った品種を育成する場合、多く存在している I 型の圃場においては *rym5* および *rym3* の両方が抵抗性反応を示すため、*rym3* を持った品種を効率的に選抜することは難しく、*rym3* と *rym5* とを集積した品種を効率的に育成することも困難となっていた。

そこで、これら大麥縞萎縮病に抵抗性となる遺伝子集積品種の育成を目指し、はじめに栃木県育成ビールオオムギ品種について家系分析を行い、大麥縞萎縮ウイルス系統の発生状況の把握、大麥縞萎縮病抵抗性遺伝子集積法の開発と品種の育成、そして品種の普及に関して以下のような研究を進めた。

第2章 栃木県育成ビールオオムギ品種の家系分析

ビールオオムギの品種改良において、どのような交配母本を用いるか、組合せ能力の高い親はあるのか等を探るため、品種の家系を解析し、品種の血縁関係と品種の特性との関係を解析することは重要と考えられる。家系分析手法の一つに推論型コンピュータ言語の Prolog を用いて近縁係数を算出する方法がある。この方法を用い、水稲では各育成場所で育成した品種について家系分析を行い、近縁係数と品種特性との関係を解析している（大里・吉田 1996, 重宗ら 2006, 太田ら 2006, 佐藤・吉田 2007）。これらの報告では佐々木（1990）の指摘と同様に交配親が重要であることや、水稲の食味を求めていく限りコシヒカリを中心として育成品種の遺伝的背景が狭くなる危険性が示唆されており、井辺（1991）や横尾（2005）が述べているように、品種育成において、消費者や実需者のニーズや生産性の安定のためには、遺伝的背景を拡大することや地域性に対応した多様な育種を展開していくことが必要と思われる。麦類では水田ら（1996）が福岡県農業総合試験場で育成した二条オオムギ品種と主要祖先品種間の近縁係数を計算し、極めて少数の祖先品種が高い遺伝的寄与をしていることや、はるな二条との近縁係数とエキス間に有意な相関があることを明らかにしている。さらに、国内のオオムギやコムギ品種について、近縁係数等を用いて血縁関係の推定をし、品種育成の交配計画に取り入れることにより、育種の効率化が図れることが示唆されている（内村ら 2004, 小林・吉田 2006b）。

栃木県においては 1954 年から栃木県農業試験場にてビール醸造用二条オオムギの育種を行っており、1958 年には農林水産省二条大麦育種指定試験地として東日本向けの品種育成、1971 年には同じくビール麦醸造用品質改善指定試験地として国内のビール醸造用品質の検定と極高品質ビールオオムギ中間母本の育成を行っている（増田ら 1993）。これら育種事業において、育種目標は栽培性、収量性の向上はいうまでもなく、特に、実需者から醸造適性の向上が強く求められている。高い醸造適性を目指しつつ、栽培性、収量性、耐病性等の形質を改良するには品種の家系を分析し、血縁関係と品種特性との関係を解析し、今後の育種戦略に役立てることは極めて重要であるが、ビール醸造用二条オオムギに関する家系分析は水田ら（1996）以外には行われていない。

そこで、本章では育成品種の遺伝的背景の拡大を考慮した高品質ビール醸造用オオムギ品種を育成するために、

栃木県育成品種の遺伝的背景を明確にしようとした。すなわち、育成品種、比較品種の家系分析を主に近縁係数を計算することにより行い、育成品種の総祖先数、最大世代数、祖先品種との近縁係数も解析した。また、近縁係数と醸造適性（醸造用品質）、栽培（農業）特性との関係を検討した。

材料と方法

1. 供試材料

栃木県において育成した地方系統番号の付与された 40 品種（以下、育成品種）を供試した。このうち 10 品種は品種登録がされた（第1表、以下品種名は省略する）。また、それぞれの育成品種の祖先となった品種（以下、祖先品種）と栃木県で栽培された主要品種（以下、主要品種）についても検討した。栽培特性やビール醸造用品質の成績は、関東二条 1 号～22 号については 1984 年および 1985 年に現在の栃木県の施肥基準となっている肥効調節型肥料を用いた標準栽培にて調査したデータを用い、関東二条 1 号との偏差を算出した。関東二条 23 号～40 号については、地方系統番号を付与した時に作成した二条大麦新配布系統に関する参考成績書における標準栽培データ（供試年数 2～5 年）について標準品種あまぎ二条との偏差を計算し、1984 年および 1985 年に関東二条 1 号～22 号とともに栽培した、あまぎ二条のデータを用いて再度補正したのち、関東二条 1 号との偏差を算出した。病害抵抗性は、醸造用大麦調査基準（農業研究センター 1986）に準じ、完全に抵抗性は RR（極強）、僅かに発病は R（強）、やや強～極弱までを S（罹病性）とした。ビール醸造用品質のエキス（麦芽から麦汁に溶出した総成分量で麦汁の比重により算出）、DP（ジアスターゼ力、麦芽の α -アミラーゼと β -アミラーゼの複合活性量）、評点（ビール大麦合同比較試験（佐々木 1990）において定め採点した点数）は、小規模製麦・醸造用品質分析法（栃木県農業試験場栃木分場 1998）にて分析し、算出した。

2. 近縁係数等の計算方法

水田ら（1996）が作製した Prolog による計算プログラムを吉田（2004）が Windows 版に移植したのを用いた。Prolog は Sofnec 社 AZ-Prolog for Win32 を用いた。近縁係数の計算にあたっては、水田ら（1996）に準じ、確率的に両親の遺伝物質の 1/2 ずつを次代品種が持つものとし、純系淘汰品種、突然変異品種、変種等は全て原品種と同一とみなした。また、本プログラムにて家系で最終祖先まで遡れる世代数で最大なもの（以下、最大世代数）、同じく最終祖先まで遡った時に家系に現れた品種の総数（以下、総祖先数）、総祖先数で重複している

品種を除いた祖先数（以下、重複品種を除いた祖先数）も計算した。これらの計算は、育成品種、祖先品種、主要品種についても行った。品種間の遺伝的関係を調査するため、育成品種相互間で求めた近縁係数から、青木によるプログラム（群馬大学 1995）を用い、正規化せずユ

ークリッド距離を求め、群平均法（UPGMA）によるクラスター分析を行った。さらに、前述した関東二条 1 号との偏差を用いて、計算した近縁係数と醸造用品質や農業特性との関係について検討した。

第 1 表 供試した品種とその交配組合せ、育成年およびクラスター分類群.

試験 番号	品種名	交配親		育成年	備考 (品種名)	クラスター 分類群
		母	父			
1	関東二条 1 号	エビス	アサヒ 19 号	1959	ニューゴールデン	B
2	関東二条 2 号	交 1-18	京都不生	1960	—	C
3	関東二条 3 号	エビス	アサヒ 19 号	1960	—	B
4	関東二条 4 号	関東二条 1 号	成城 17 号	1966	—	B
5	関東二条 5 号	関東二条 1 号	成城 17 号	1966	—	B
6	関東二条 6 号	関東二条 2 号	成城 17 号	1966	—	C
7	関東二条 7 号	エビス	アサヒ 19 号	1969	アズマゴールデン	B
8	関東二条 8 号	関東二条 1 号	成城 17 号	1971	—	B
9	関東二条 9 号	関東二条 1 号	成城 8 号	1971	—	B
10	関東二条 10 号	関東二条 1 号	成城 17 号	1971	—	B
11	関東二条 11 号	関東二条 1 号	成城 17 号	1971	—	B
12	関東二条 12 号	関東二条 2 号	成城 15 号	1971	ミホゴールデン	C
13	関東二条 13 号	関東二条 2 号	成城 17 号	1973	—	C
14	関東二条 14 号	関東二条 1 号	成城 17 号	1973	—	B
15	関東二条 15 号	成城 8 号	関東二条 3 号	1973	—	B
16	関東二条 16 号	成城 8 号	関東二条 3 号	1977	—	B
17	関東二条 17 号	南系 A2459	薬系 51	1977	—	B
18	関東二条 18 号	関東二条 6 号	ふじ二条	1977	—	C
19	関東二条 19 号	成城 17 号	南系 B4618	1980	—	C
20	関東二条 20 号	成系 1	アズマゴールデン	1980	—	B
21	関東二条 21 号	関東二条 5 号	新田二条 1 号	1981	ヤシオゴールデン	A
22	関東二条 22 号	南系 B4641	新田二条 1 号	1983	ミサトゴールデン	A
23	関東二条 23 号	南系 B4718	新田二条 1 号	1984	ミカモゴールデン	A
24	関東二条 24 号	1)	新田系 10	1986	—	A
25	関東二条 25 号	1)	新田系 10	1987	—	A
26	関東二条 26 号	<西海皮 33 号/栃系 133>F ₄	栃系 144	1990	—	A
27	関東二条 27 号	大系 R2067	栃系 144	1990	ヤチホゴールデン	A
28	関東二条 28 号	大系 R2068	栃系 144	1991	タカホゴールデン	A
29	関東二条 29 号	2)	栃系 166	1992	—	A
30	関東二条 30 号	<はるな二条/きぬ二条 1 号>F ₁	野洲二条 5 号	1994	—	A
31	関東二条 31 号	大系 HC9	栃系 204	1996	—	A
32	関東二条 32 号	関東二条 25 号	栃系 216	1997	スカイゴールデン	A
33	関東二条 33 号	栃系 226	関東二条 28 号	1999	—	A
34	関東二条 34 号	関東二条 29 号	栃系 216	1999	—	A
35	関東二条 35 号	大系 R4224	関東二条 29 号	2001	サチホゴールデン	A
36	関東二条 36 号	関東二条 31 号	大系 R4656	2004	—	A
37	関東二条 37 号	関東二条 31 号	大系 R4656	2004	—	A
38	関東二条 38 号	栃系 258	吉系 48	2005	—	A
39	関東二条 39 号	吉系 56	大系 R4813	2006	—	A
40	関東二条 40 号	大系 HK42	栃系 280	2007	—	A

1) <南系 R1303/<新田二条 1 号/Klages>F₁>F₄. 2) <西海皮 32 号/栃系 133>F₄//あまぎ二条>F₄.

— : 品種登録はされていない.

結果と考察

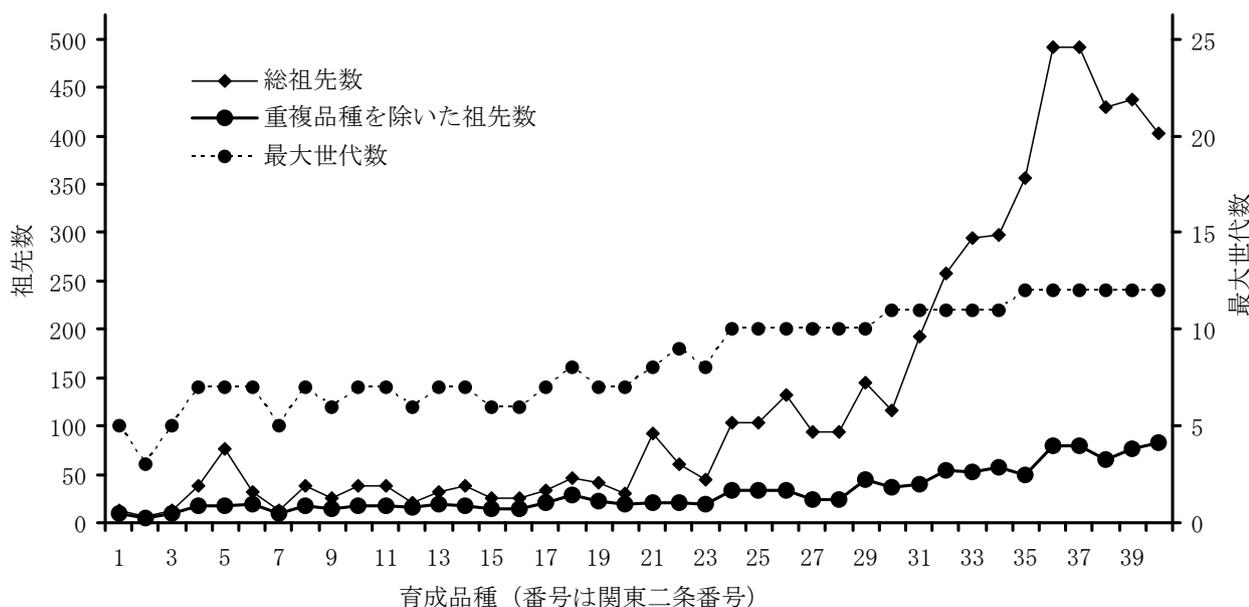
1. 世代数および祖先数

第1図に栃木県育成40品種の最大世代数, 総祖先数, 重複品種を除いた祖先数を示した. 最大世代数は最少が関東二条2号の3, 最大が35号以降の12, 平均8であった. 総祖先数は6~492(平均で130), 重複品種を除いた祖先数は5~83(平均で31)であった. 最大世代数は徐々に増加する傾向であるのに対し, 総祖先数は関東二条31~36号にかけて急激に増加した. 重複品種を除いた祖先数は徐々に増加しているが, 関東二条29号と32号以降増加速度がやや速くなる傾向がみられた. 関東二条22号以降, 全ての品種で大麦縞萎縮病抵抗性導入のために木石港3, または, はがねむぎ由来の後代品種が用いられており(栃木県農業試験場栃木分場 2006), 関東二条29号は栃木県で初めて, はがねむぎ由来の抵抗性を持った品種(五月女ら 1996), 関東二条32号は木石港3, はがねむぎ由来の両方の抵抗性を持つ品種(谷口ら 2001)である. 総祖先数は増加は, これらの品種を積極的に交配母本として利用したこと, 加えて関東二条27号以降ほとんどの品種ではうどんこ病抵抗性導入のためにMona由来の後代品種が使われていること(栃木県農業試験場栃木分場 2006)等に起因すると考えられる. 一方, これらの結果は水稻の家系と比較すると最大世代数, 総祖先数, 祖先数とも数値が少なく, 多様性の面から特に問題となる交配母本の数, 即ち重複する品種を除いた祖先数は, 水稻における福島県育成品種で62

~147(佐藤・吉田 2007), 農業・生物系特定産業技術研究機構作物研究所育成品種では59~173(太田ら 2006)と栃木県育成ビール醸造用二条オオムギ品種の2倍程度となっており, 遺伝的多様性を広げるためにも新たな遺伝資源の導入が必要であると考えられる.

2. 祖先品種, 主要品種との近縁係数

育成品種と祖先品種, 主要品種との近縁係数を計算し, その内の数値の高いものを第2表に示した. 最終祖先は相互に類縁関係がないことから, その近縁係数は該当品種の遺伝的な寄与率とみなせる(水田ら 1996). 最終祖先の上位3品種の近縁係数は40品種平均で, ゴールデンメロンが0.398, シバリー0.186, 札幌7号0.134と, わずか3品種合計で遺伝的寄与率は71.6%を占めた. 最も高い品種は関東二条21号の91.4%で, 最近の品種は約55~70%で減少傾向にある. 水田ら(1996)も福岡県育成品種と近縁係数の高い上位3品種はゴールデンメロン, シバリー, 札幌7号で遺伝的な寄与率は高い品種で90%, 近年の品種では約70%であると述べており, 同様の傾向を示している. 育成品種と主要品種との近縁係数が高い品種も3品種に限られ, はるな二条が平均で0.457と最も高く, 次いでミサトゴールデンの0.442, ニューゴールデンの0.390であった. 水田ら(1996)の結果でも, はるな二条が0.561で最も高く, 次いでミサトゴールデンの0.552, さつき二条の0.353であり似たような傾向を示している. このことは, 北九州と北関東は地理的に離れていても, 福岡県育成品種と栃木県育成品種の



第1図 祖先数, 最大世代数の推移.

総祖先数は, 最終祖先まで遡った時に家系図に現れた品種の総数.
 重複品種を除いた祖先数は, 総祖先数から家系図で重複するものを除いた祖先の数.
 最大世代数は, 家系図で最終祖先まで遡れる世代数で最大なもの.

第 2 表 育成品種と主な祖先品種および主要品種との近縁係数

品種名	祖 先 品 種 ¹⁾					主 要 品 種 ³⁾					
	ゴールデン メロン ²⁾	シバリー ²⁾	札幌 7 号 ²⁾	エビス	アサヒ 5 号	アサヒ 19 号	ニュー ゴールデン	アズマ ゴールデン	あまぎ 二条	はるな 二条	ミサト ゴールデン
関東二条 1 号	0.438	0.281	0.000	0.594	0.375	0.594	1.000	0.594	0.258	0.313	0.346
関東二条 2 号	0.375	0.000	0.000	0.250	0.141	0.141	0.195	0.195	0.121	0.223	0.204
関東二条 3 号	0.438	0.281	0.000	0.594	0.375	0.594	0.594	0.594	0.258	0.313	0.422
関東二条 4 号	0.438	0.281	0.125	0.406	0.430	0.539	0.676	0.473	0.408	0.357	0.357
関東二条 5 号	0.438	0.281	0.125	0.406	0.430	0.539	0.676	0.473	0.408	0.357	0.357
関東二条 6 号	0.406	0.141	0.125	0.234	0.313	0.313	0.273	0.273	0.340	0.313	0.286
関東二条 7 号	0.438	0.281	0.000	0.594	0.375	0.594	0.594	1.000	0.258	0.313	0.346
関東二条 8 号	0.438	0.281	0.125	0.406	0.430	0.539	0.676	0.473	0.408	0.357	0.357
関東二条 9 号	0.313	0.281	0.250	0.344	0.438	0.438	0.594	0.391	0.238	0.328	0.319
関東二条 10 号	0.438	0.281	0.125	0.406	0.430	0.539	0.676	0.473	0.408	0.357	0.357
関東二条 11 号	0.438	0.281	0.125	0.406	0.459	0.539	0.676	0.473	0.408	0.357	0.357
関東二条 12 号	0.281	0.141	0.250	0.172	0.474	0.211	0.191	0.191	0.170	0.408	0.342
関東二条 13 号	0.406	0.141	0.125	0.234	0.490	0.313	0.273	0.273	0.340	0.313	0.286
関東二条 14 号	0.438	0.281	0.125	0.406	0.430	0.539	0.676	0.473	0.408	0.357	0.357
関東二条 15 号	0.313	0.281	0.250	0.344	0.438	0.438	0.391	0.391	0.238	0.328	0.357
関東二条 16 号	0.313	0.281	0.250	0.344	0.438	0.438	0.391	0.391	0.238	0.328	0.357
関東二条 17 号	0.359	0.211	0.125	0.383	0.348	0.402	0.393	0.596	0.214	0.360	0.344
関東二条 18 号	0.297	0.133	0.063	0.211	0.227	0.227	0.219	0.219	0.449	0.221	0.207
関東二条 19 号	0.359	0.141	0.125	0.203	0.295	0.295	0.249	0.249	0.325	0.285	0.268
関東二条 20 号	0.266	0.211	0.125	0.320	0.313	0.367	0.344	0.547	0.184	0.305	0.293
関東二条 21 号	0.516	0.211	0.188	0.352	0.434	0.434	0.494	0.393	0.337	0.679	0.583
関東二条 22 号	0.527	0.158	0.188	0.334	0.398	0.357	0.346	0.346	0.248	0.809	1.000
関東二条 23 号	0.461	0.176	0.125	0.371	0.359	0.387	0.379	0.531	0.229	0.617	0.542
関東二条 24 号	0.359	0.141	0.141	0.227	0.302	0.288	0.257	0.257	0.200	0.490	0.419
関東二条 25 号	0.359	0.141	0.141	0.227	0.302	0.288	0.257	0.257	0.200	0.490	0.419
関東二条 26 号	0.393	0.132	0.125	0.278	0.301	0.294	0.286	0.286	0.189	0.568	0.654
関東二条 27 号	0.486	0.132	0.188	0.278	0.363	0.302	0.290	0.290	0.223	0.779	0.803
関東二条 28 号	0.486	0.132	0.188	0.278	0.363	0.302	0.290	0.290	0.223	0.779	0.803
関東二条 29 号	0.402	0.174	0.141	0.248	0.367	0.313	0.280	0.280	0.410	0.561	0.480
関東二条 30 号	0.404	0.140	0.148	0.255	0.320	0.292	0.274	0.274	0.307	0.585	0.501
関東二条 31 号	0.379	0.123	0.125	0.260	0.289	0.275	0.268	0.287	0.181	0.559	0.561
関東二条 32 号	0.409	0.155	0.148	0.281	0.336	0.326	0.316	0.303	0.224	0.542	0.472
関東二条 33 号	0.407	0.144	0.148	0.245	0.338	0.287	0.266	0.266	0.300	0.607	0.591
関東二条 34 号	0.431	0.171	0.148	0.292	0.369	0.338	0.327	0.315	0.328	0.577	0.502
関東二条 35 号	0.425	0.174	0.145	0.259	0.385	0.317	0.288	0.288	0.376	0.586	0.499
関東二条 36 号	0.405	0.147	0.137	0.276	0.329	0.307	0.297	0.301	0.255	0.568	0.532
関東二条 37 号	0.405	0.147	0.137	0.276	0.329	0.307	0.297	0.301	0.255	0.568	0.532
関東二条 38 号	0.389	0.143	0.137	0.268	0.314	0.305	0.293	0.325	0.202	0.531	0.459
関東二条 39 号	0.321	0.127	0.117	0.205	0.281	0.243	0.224	0.243	0.278	0.418	0.359
関東二条 40 号	0.319	0.129	0.109	0.209	0.270	0.248	0.229	0.248	0.215	0.462	0.434
平均	0.398	0.186	0.134	0.315	0.358	0.368	0.390	0.368	0.279	0.457	0.442

1) 育成品種の祖先となった品種。

2) ゴールデンメロン、シバリー、札幌 7 号は、相互に類縁関係がなく、最終祖先にあたる品種。

3) 栃木県で栽培された主要品種。

祖先は共通している割合が多いことを意味している。福岡県育成品種の育種素材はもともと栃木県から分譲・移譲されたものであったこと(増田ら 1993)、極高品質は

るな二条を両県とも積極的に育種素材として利用したこと(増田ら 1993)、さらに両県育成系統のビール醸造用品質の検定および選抜は栃木県のビール醸造用品質改

善指定試験地で行っていたことによるためと推察された。

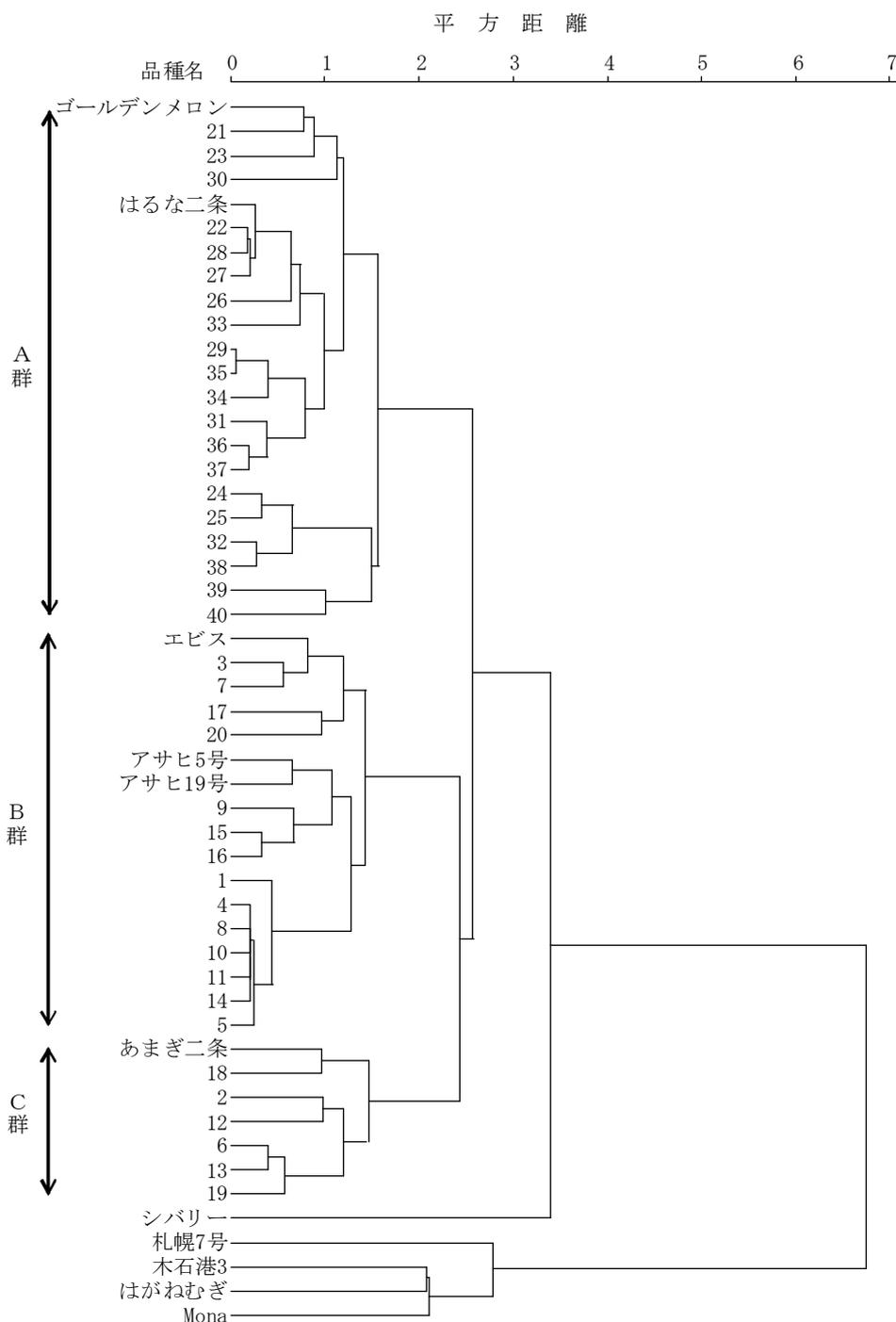
3. クラスタ分析

栃木県育成品種間について総当たりで近縁係数を計算した結果、0.115～0.856 まで広く分布した。これらに、祖先品種および主要品種を加えたデータを基にクラスタ分析した結果をデンドログラムとして第2図に示した。その結果、育成品種は大きく3群に分けられた。樹形に従い、A群、B群、C群

とし、第2図および第1表に示した。交配組合せから群の特徴をみると、関東二条 21号～40号までのA群は関東二条 21号以降の品種で構成されており、最も多数であった。また、これらは、はるな二条由来の品種で育成品種間での親子関係になっている比較的小さなクラスターから成っている傾向であった。次に、関東二条 1号～20号までのB群は関東二条 1号または3号由来の品種が多く、関東二条 2号～18号までのC群は関東二条 2号由来の品種が主に形成されていた。なお、近縁係数が0.856と最も高かったのは関東二条 29号と関東二条 35号(サチホゴールデン)で、関東二条 35号は関東二条 29号を戻し交配して育成された品種である(加藤ら 2006)ためと考えられる。

祖先品種や主要品種のうち、ゴールデンメロン、はるな二条はA群、エビス、アサヒ 5号、アサヒ 19号はB群、あまぎ二条はC群に分類され、シバリーおよび札幌7号は異なるクラスターに分類

された。また、非ビール醸造用二条オオムギで病害抵抗性遺伝資源の木石港 3 (Kobayashi ら 1987)、はがねむぎ(鶴ら 1993)、Mona (宮川ら 1993)も育成品種とは異なるクラスターに分類された。今回、はるな二条と主な祖先品種および主要品種との近縁係数計算したところ、ゴールデンメロン、シバリー、札幌7号、エビス、アサヒ 5号、アサヒ 19号、ニューゴールデン、アズマゴー



第2図 育成品種、祖先品種、主要品種によるデンドログラム。

左列の番号は品種(関東二条)番号。

第 3 表 育成品種の主要な醸造品質および農業特性.

品種名	醸 造 品 質			農 業 特 性		
	エキス (%)	DP (WK/TN)	評点	成熟期 (日)	稈長 (cm)	収量 (gm ²)
関東二条 1 号	0.0	0	0	0	0	0.0
関東二条 2 号	-0.3	32	9	-2	2	3.6
関東二条 3 号	0.3	9	13	-7	-11	2.8
関東二条 4 号	-0.4	6	4	-4	-14	-4.5
関東二条 5 号	0.2	-7	1	-2	-18	-2.4
関東二条 6 号	-0.1	13	-3	-1	-7	-5.9
関東二条 7 号	0.4	-18	8	-4	-8	-4.8
関東二条 8 号	-0.7	4	-8	-5	-13	2.5
関東二条 9 号	-0.4	-18	-6	-3	-13	3.5
関東二条 10 号	-0.4	17	-6	-6	-12	-0.3
関東二条 11 号	-0.6	8	-6	-4	-6	3.8
関東二条 12 号	1.2	37	15	-7	-17	0.2
関東二条 13 号	-0.3	48	13	-6	-16	-1.1
関東二条 14 号	-0.8	5	-4	-5	-15	5.1
関東二条 15 号	0.7	24	19	-4	-16	-1.0
関東二条 16 号	-1.1	20	-6	-4	-10	-3.9
関東二条 17 号	1.1	27	24	-6	-16	-6.4
関東二条 18 号	1.5	31	16	-4	-12	-1.5
関東二条 19 号	0.3	15	7	0	5	3.7
関東二条 20 号	0.6	33	21	-4	-17	-3.7
関東二条 21 号	2.3	26	31	-4	-13	11.0
関東二条 22 号	1.5	13	22	-5	-15	11.5
関東二条 23 号	3.8	46	54	-7	-17	-0.3
関東二条 24 号	1.7	74	23	-4	-10	15.4
関東二条 25 号	3.2	39	32	-7	-10	5.1
関東二条 26 号	3.0	41	31	-7	-16	6.4
関東二条 27 号	3.5	40	32	-4	-10	10.1
関東二条 28 号	3.2	39	36	-4	-12	11.9
関東二条 29 号	5.1	90	42	-4	-1	12.1
関東二条 30 号	3.9	35	38	-6	-8	8.4
関東二条 31 号	4.6	53	44	-6	-13	13.7
関東二条 32 号	4.6	84	54	-6	-14	6.2
関東二条 33 号	4.6	66	75	-7	-15	13.9
関東二条 34 号	4.7	27	78	-8	-18	11.5
関東二条 35 号	4.9	43	36	-6	-21	5.3
関東二条 36 号	3.9	145	42	-7	-23	11.1
関東二条 37 号	4.4	132	34	-6	-19	2.9
関東二条 38 号	3.8	29	36	-5	-18	6.2
関東二条 39 号	3.2	34	27	-7	-15	6.8
関東二条 40 号	3.2	-1	11	-6	-17	12.8
平 均	1.9	33	22	-5	-12	4.3

数字は、関東二条 1 号を基準に偏差を記した。

エキス：麦芽から麦汁に溶出した総成分量（麦芽エキス）、麦汁の比重により算出。DP：ジアスターゼ力、麦芽のα-アミラーゼとβ-アミラーゼの複合活性量。評点：ビール大麦合同比較試験（佐々木 1990）において定められた品質評価基準における算出式により採点した点数。収量：子実重。

関東二条 1 号の成績は、成熟期：6 月 5 日、稈長：94cm、収量（整粒重）：36.8gm²、

エキス：79.1%、DP(WK/TN)：102、評点：8.0。

ルデン、あまぎ二条、ミサトゴールデンとそれぞれ、0.594, 0.141, 0.250, 0.297, 0.438, 0.328, 0.313, 0.313, 0.266, 0.809 であった。最終祖先のうち、シバ

リーが栃木県育成品種とは異なるクラスターに分類されゴールデンメロンが栃木県育成品種のクラスターに分類されたのは、シバリーは北海道で普及し新品種育成の母

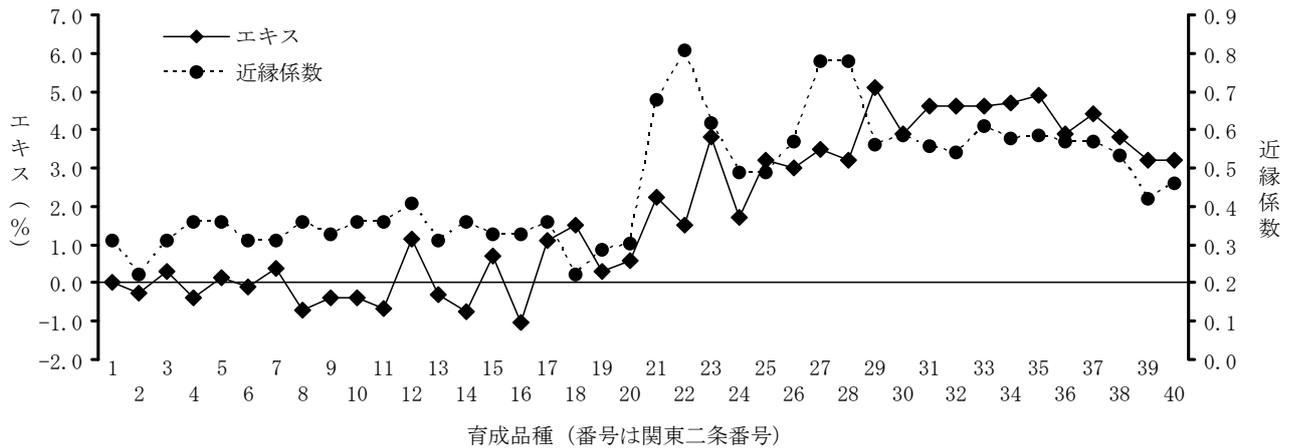
本として用いられ、ゴールデンメロンは栃木県をはじめ本州の各都府県で広く栽培され新品種育成の母本として利用されてきたこと（増田ら 1993）によると思われる。1881～1897年に我が国へ導入されたゴールデンメロン（高橋 1980）が、1959～1980年に育成された B・C 群（関東二条 1 号～20 号）のクラスターに分類されず 1981 年以降に育成された A 群（関東二条 21 号～40 号）に分類されたのは、1973 年育成はるな二条とゴールデンメロンの高い近縁係数 (0.594) によるものと考えられた。さらに、札幌 7 号は、はるな二条の祖父にあたり近縁係数は 0.250 であるが、本結果では栃木県育成品種および主要品種は、はるな二条と札幌 7 号の近縁度に比べて近縁性が高く、育成当初から現在まで遺伝的多様性があまり広がっていないと考えられた。小林・吉田 (2006a) は関東周辺地域のムギ類について RAPD マーカーによる多型情報をもとにコムギ、オオムギのクラスター分析を行い、用途や育成地毎に特徴があり遺伝的多様性が残されているとしているが、栃木県育成品種では二条の並性オオムギであることに加えて、ビール大麦合同比較試験（国および各県農業試験場、集荷団体、生産指導団体ならびにビール酒造組合・各ビール会社がお互いに協力して実施している試験、佐々木 1990）、同生産力検定試験等で 4 ヶ年以上（ビール大麦合同比較試験は毎年 4 ヶ所以上）で醸造用品質の検定・選抜を行い、ビール醸造用に限定して育成してきたため、多様性が狭くなったものと考えられた。水田・吉田 (1994) は、ビールオオムギ品種に要求される醸造特性が極めて高く、近縁の良質品種同士の交配両親を選定しがちで、極めて限られた範囲内の循環選抜がなされてきたためと述べているが、今後はるな二条以外の遺伝資源を探索し、多様化を図ることが重要と思われる。

4. 醸造用品質と近縁係数

育成品種の主要な醸造用品質の結果を第 3 表、主な祖先品種、主要品種との近縁係数と醸造用品質との関係を第 4 表に示した。なお、育成品種については全品種と、醸造用品質が極めて高品質な関東二条 21 号～40 号（はるな二条を母本あるいは遺伝資源として用いたクラスター分析結果の A 群、以下、後期品種と記す）と、それ以前の関東二条 1 号～20 号（以下、前期品種と記す）との 3 項目について計算した。全品種においては、エキス、評点は、ニューゴールデンはそれぞれ-0.567, -0.533, アズマゴールデンはそれぞれ-0.441, -0.313, そしてこれらの親のアサヒ 19 号はそれぞれ-0.552, -0.486, エビスはそれぞれ-0.464, -0.375, シバリーはそれぞれ-0.549, -0.501 といずれも負の相関が認められたが、はるな二条

では 0.731, 0.671, その子のミサトゴールデンではそれぞれ 0.549, 0.514 と高い正の相関関係が認められた。また、前期品種においては全品種で相関が認められなかったゴールデンメロンとの間で-0.498, -0.499 と負の相関がみられた。栃木県育成品種におけるエキスや評点の向上は、総じてシバリー、エビス、アサヒ 5 号、アサヒ 19 号、ニューゴールデン、アズマゴールデンとの近縁係数を下げ、はるな二条との近縁係数を高く維持することにより達成されてきたと推定された。さらに、はるな二条を母本とする以前の前期品種においてはゴールデンメロンとの近縁係数を下げることで高品質化が図られてきたと思われた。DP(WK/TN) (ジアスターゼ力) については、エキス、評点と似た結果で、ニューゴールデン、アズマゴールデン、アサヒ 19 号やエビス、シバリーと-0.512, -0.441, -0.503, -0.459, -0.489 と負の相関が、はるな二条とは 0.418 と正の相関関係が認められたが、ミサトゴールデンでは近縁係数との相関は認められなかった。また、前期品種ではゴールデンメロンのみならずニューゴールデン、アズマゴールデン、アサヒ 19 号、エビス、シバリーと-0.485, -0.711, -0.588, -0.588, -0.650, -0.639 と負の相関があり、エキス、評点と同様と考えられたが、その係数の高さから DP の向上はこれら品種との近縁性を低下させることで高品質化が進んだと推定された。さらに、栃木県育成品種において、近年育成された DP の高い品種は第 1 表、第 2 図および第 3 表の結果からクラスター分析の A 群に分類されるが、A 群のなかでも、はるな二条を含む小群ではなく関東二条 29 号や関東二条 24 号を含む小群に位置づけられ、これら品種は、はるな二条よりも高い DP 値を示すことから、はるな二条以外の DP を高める祖先が存在したと推察される。

水田ら (1996) は、はるな二条が福岡県育成品種と最も近縁係数が高く、近年の育成品種についても低下の傾向はみられなかったとしている。また、はるな二条との近縁係数とエキスには有意な正の相関があり、近縁係数が高い品種ほど醸造用品質が優れている傾向を認めている。そこで、第 3 図に、はるな二条との近縁係数とエキスの推移を示した。はるな二条との近縁係数は関東二条 21 号以降急激に高くなり、関東二条 22 号が 0.809 と最も高く、次に関東二条 27, 28 号が 0.779 と高いが、1991 年に育成した関東二条 29 号以降関東二条 37 号まではほぼ横ばいで、以降は徐々に低下している傾向にある。はるな二条との近縁係数は福岡県育成品種においては近年になっても低下していないと水田ら (1996) は述べているが、栃木県育成品種では水田ら (1996) が検討した 1996 年には既にはるな二条との近縁係数は低下傾向に



第3図 はるな二条と育成品種の近縁係数とエキスの関係.

エキスは関東二条 1 号との偏差.
 エキスと近縁係数の相関係数は $r=0.731^{***}$.

第4表 育成品種の祖先品種および主要品種間の近縁係数と醸造品質との相関関係.

	祖 先 品 種						主 要 品 種				
	ゴールデン メロン	シバリー	札幌7号	エビス	アサヒ 5号	アサヒ 19号	ニュー ゴールデン	アズマ ゴールデン	あまぎ 二条	はるな 二条	ミサト ゴールデン
エキス(全品種)	0.11	-0.549 **	0.13	-0.464 **	-0.362	-0.552 ***	-0.567 ***	-0.441 **	-0.188	0.731 ***	0.549 ***
エキス(関東二条1号~20号)	-0.498 *	-0.328	-0.089	-0.217	-0.339	-0.398	-0.441	-0.037	-0.263	-0.194	-0.264
エキス(関東二条21号~40号)	-0.214	0.047	-0.329	-0.157	-0.05	-0.171	-0.218	-0.08	0.397	-0.232	-0.355
DP(WK/TN)(全品種)	-0.029	-0.489 **	0.131	-0.459 **	-0.259	-0.503 ***	-0.512 ***	-0.441 **	-0.188	0.418 **	0.274
DP(WK/TN)(関東二条1号~20号)	-0.485 *	-0.639 **	0.146	-0.65 **	-0.205	-0.706 ***	-0.711 ***	-0.588 **	-0.245	-0.204	-0.437
DP(WK/TN)(関東二条21号~40号)	-0.12	0.005	-0.154	-0.051	-0.062	-0.051	-0.079	-0.073	0.083	-0.152	-0.191
評点(全品種)	0.144	-0.501 ***	0.129	-0.375 *	-0.285	-0.486 **	-0.533 ***	-0.313 *	-0.253	0.671 ***	0.514 ***
評点(関東二条1号~20号)	-0.499 *	-0.394	-0.094	-0.217	-0.303	-0.431	-0.544 *	-0.021	-0.467 *	-0.231	-0.239
評点(関東二条21号~40号)	-0.149	0.255	0.008	0.235	0.225	0.216	0.216	0.229	0.293	0.052	-0.081

表中の数字は相関係数(r)値. また***, **, *; 0.1%, 1%, 5%水準で有意.
 供試数は, 全品種: n=40, 関東二条1~20号: n=20, 関東二条21~40号: n=20.

第5表 育成品種の祖先品種および主要品種間の近縁係数と農業特性との相関関係.

	祖 先 品 種						主 要 品 種				
	ゴールデン メロン	シバリー	札幌7号	エビス	アサヒ 5号	アサヒ 19号	ニュー ゴールデン	アズマ ゴールデン	あまぎ 二条	はるな 二条	ミサト ゴールデン
稈長(全品種)	0.034	-0.064	-0.356 *	0.116	-0.252	0.040	0.136	0.027	0.045	-0.314 *	-0.269
稈長(関東二条1号~20号)	0.197	-0.359	-0.465 *	0.024	-0.545 *	-0.161	-0.005	-0.105	-0.143	-0.530 *	-0.378
稈長(関東二条21号~40号)	0.021	-0.025	0.240	-0.195	0.039	-0.066	-0.101	-0.210	0.174	0.090	0.027
成熟期(全品種)	0.015	0.169	-0.159	0.190	-0.052	0.210	0.328 *	0.132	0.148	-0.393 *	-0.318 *
成熟期(関東二条1号~20号)	0.058	-0.184	-0.191	-0.067	-0.435	-0.103	0.089	-0.127	0.004	-0.434	-0.413
成熟期(関東二条21号~40号)	0.395	0.132	0.583 **	0.096	0.364	0.203	0.215	-0.025	0.059	0.451 *	0.346
収量(全品種)	0.254	-0.455 **	0.171	-0.396 *	-0.243	-0.421 **	-0.364 *	-0.503 ***	-0.164	0.702 ***	0.621 ***
収量(関東二条1号~20号)	0.143	-0.041	-0.051	-0.015	0.013	0.007	0.162	-0.281	0.085	-0.083	-0.016
収量(関東二条21号~40号)	-0.001	-0.158	0.256	-0.294	0.001	-0.210	-0.155	-0.465 *	0.074	0.142	0.193

表中の数字は相関係数(r)値. また***, **, *; 0.1%, 1%, 5%水準で有意.
 供試数は, 全品種: n=40, 関東二条1~20号: n=20, 関東二条21~40号: n=20.

あり, 異なる結果であった. また, 栃木県育成品種ではエキスとの相関係数は0.731と福岡県以上に高いが, 関東二条 29 号以降, はるな二条との近縁係数が低下している. しかし, エキスは比較的高く維持されていること

から, これらは幾つかの品種の相乗あるいは相加的効果によることが示唆された. 水田ら(1996)は交配予定の組合せで計算できる対はるな二条近縁係数から醸造用品質の優れた品種を多く選抜することが期待できると述べて

いるが、今回の結果から近年の栃木県育成品種についてはその傾向が異なっていると推察される。はるな二条はこれまでの醸造用品質の向上には大きく寄与してきたが、今後は新たな遺伝資源導入による一層の高品質化を図っていくことが重要と考えられる。

5. 農業特性と近縁係数

育成品種の主要な農業特性の結果を第3表、育成品種と祖先品種、主要品種との近縁係数と農業特性との相関関係を第5表に示した。稈長については、全品種の近縁係数と札幌7号、はるな二条との間に-0.356, -0.314と負の相関が認められた。また、前期品種ではこれらに加えてアサヒ5号との間に-0.545と負の相関が認められた。札幌7号は第2表の結果から近縁係数は低い、栃木県では前期ではアサヒ5号や札幌7号の後代を母本として用いることにより、短稈化を進めたことが示唆され、また、はるな二条は高品質化だけではなく短稈化にも貢献したものと推察された。成熟期では、全品種の近縁係数とニューゴールデンとの間に0.328と正の相関、はるな二条およびミサトゴールデンとは-0.393, -0.318と負の相関がみられた。ニューゴールデンは育成品種の中では晩生であり、近縁係数が高くなるに従い成熟期が遅くなったと思われる。また、はるな二条を交配親とした品種あるいは後代品種の後期品種と前期品種の成熟期について比較すると、有意に後期品種が早生(-2.6日, $p < 0.001$, 表は省略)であることから、はるな二条やその子であるミサトゴールデンは育成品種の早生化に貢献したものと考えられる。収量については、全品種においてアズマゴールデン、ニューゴールデン、アサヒ19号、エビスやシバリーとそれぞれ-0.503, -0.364, -0.421, -0.396, -0.455と負の相関が、はるな二条やミサトゴールデンとそれぞれ0.702, 0.621と高い正の相関関係が認められた。成熟期と同様に前期品種と後期品種で収量を比較すると、後期品種が有意に多収(+9.6 gm^{-2} , $p < 0.001$, 表は省略)となった。また、重複品種を除いた祖先数と収量の関係を調査したところを、重複品種を除いた祖先数が20を超えると収量が多くなる傾向にあった(相関係数は $r=0.611^{***}$, 表は省略)。これらの結果から、栃木県におけるビール醸造用二条オオムギ育種では、はるな二条は収量の増加にも貢献したが、加えて、はるな二条を基幹品種として新しい遺伝資源を利用することにより収量性の向上が図られたと推察された。これは、重宗ら(2006)の水稻の祖先数の増加と食味との関係に類似しているが、祖先数と収量については水稻や麦類では今まで明らかにされていないため、今後は収量性向上のためには祖先数についても調査を進める必要があると

思われる。

オオムギの主要病害の大麦縞萎縮病およびうどんこ病の病害抵抗性と近縁係数との関係を第6表に示した。Kashiwazakiら(1989)の分類した大麦縞萎縮ウイルスI型(以下、I型と記す)に対する抵抗性については関東二条19号から付与され、遺伝資源は木石港3である。はがねむぎの持つ大麦縞萎縮病抵抗性遺伝子は大麦縞萎縮ウイルスI~III型(以下、I~III型と記す)に抵抗性(Kashiwazakiら1989)であるが、関東二条26号は、はがねむぎと近縁係数がみられるがIII型圃場等を用いて抵抗性選抜を行っていなかったため、はがねむぎの持つI~III型抵抗遺伝子は落としてきてしまったものと思われる。以後、関東二条29号および関東二条32号以降からは全ての品種に導入されており、全ての品種でI~III型抵抗性になっている。うどんこ病抵抗性については、伝資源として家系に現れているのはMonaだけであるが、他にも抵抗性の品種がみられる。これらの品種のうどんこ病抵抗性の遺伝資源は交配母本の取り違えか弱い抵抗性遺伝子の集積が考えられるが不明である。それぞれの抵抗性母本との近縁係数をみると、木石港3で最も高い近縁係数を示したのが関東二条19, 23号で0.125であり徐々に低下し関東二条40号では0.008である。はがねむぎでは0.016~0.078, Monaでは0.031~0.188と同様に近縁係数は低い。これは抵抗性遺伝子の導入にあたりビール醸造用二条オオムギとして品質を向上させるために、はるな二条や関東二条29号、スカイゴールデン(関東二条32号)等高品質な品種を連続的に戻し交配を行ってきたことによると考えられた。以上、農業特性の結果からも栃木県育成品種と近縁係数の高い、はるな二条はビール醸造適性だけでなく農業特性の面でも影響を与えていることが明らかとなった。なお、はるな二条と高い近縁係数を示したゴールデンメロンは、栃木県育成品種ではビール醸造適性や農業特性において影響を与えたとはいえず、はるな二条の持つ優れた特性はその祖先の有用遺伝子の集積によるものかどうかは不明であった。また、今回、栃木県育成品種では病害抵抗性の導入源である親品種の近縁係数は極めて低いことが判明した。

佐藤・吉田(2007)が品種特性と近縁係数を調べることにより、親品種の組合せの効果が推察でき、育成品種と主要品種の近縁係数を調べることは育種計画にとり重要であると述べている。今後、栃木県のビール醸造用二条オオムギ育種においては、家系図や近縁係数を考慮しながら育種計画を立てることにより、新たな遺伝子源の探索・導入を図りつつ遺伝的多様性を維持した効率的な育種が進められるものと考えられる。

第 6 表 主要病害抵抗性と抵抗性品種との近縁係数の値

品種名	大麦縞萎縮病抵抗性 ¹⁾		うどんこ病 ¹⁾	育成品種との近縁係数		
	I 型	III 型	抵抗性	木石港 ³⁾	はがねむぎ ²⁾	Mona ³⁾
関東二条 1 号	S	S	S	0.000	0.000	0.000
関東二条 2 号	S	S	S	0.000	0.000	0.000
関東二条 3 号	S	S	S	0.000	0.000	0.000
関東二条 4 号	S	S	S	0.000	0.000	0.000
関東二条 5 号	S	S	S	0.000	0.000	0.000
関東二条 6 号	S	S	S	0.000	0.000	0.000
関東二条 7 号	S	S	S	0.000	0.000	0.000
関東二条 8 号	S	S	S	0.000	0.000	0.000
関東二条 9 号	S	S	S	0.000	0.000	0.000
関東二条 10 号	S	S	S	0.000	0.000	0.000
関東二条 11 号	S	S	S	0.000	0.000	0.000
関東二条 12 号	S	S	S	0.000	0.000	0.000
関東二条 13 号	S	S	S	0.000	0.000	0.000
関東二条 14 号	S	S	S	0.000	0.000	0.000
関東二条 15 号	S	S	S	0.000	0.000	0.000
関東二条 16 号	S	S	S	0.000	0.000	0.000
関東二条 17 号	S	S	S	0.000	0.000	0.000
関東二条 18 号	S	S	S	0.000	0.000	0.000
関東二条 19 号	RR	S	S	0.125	0.000	0.000
関東二条 20 号	S	S	S	0.000	0.000	0.000
関東二条 21 号	S	S	S	0.000	0.000	0.000
関東二条 22 号	RR	S	S	0.063	0.000	0.000
関東二条 23 号	RR	S	S	0.125	0.000	0.000
関東二条 24 号	RR	S	RR	0.063	0.000	0.000
関東二条 25 号	RR	S	RR	0.063	0.000	0.000
関東二条 26 号	RR	S	S	0.031	0.063	0.000
関東二条 27 号	RR	S	RR	0.031	0.000	0.125
関東二条 28 号	RR	S	RR	0.031	0.000	0.125
関東二条 29 号	RR	RR	RR	0.000	0.031	0.125
関東二条 30 号	RR	S	S	0.031	0.000	0.000
関東二条 31 号	RR	S	RR	0.063	0.000	0.063
関東二条 32 号	RR	RR	RR	0.031	0.063	0.000
関東二条 33 号	RR	RR	RR	0.016	0.016	0.188
関東二条 34 号	RR	RR	RR	0.000	0.078	0.063
関東二条 35 号	RR	RR	RR	0.000	0.055	0.094
関東二条 36 号	RR	RR	RR	0.031	0.039	0.063
関東二条 37 号	RR	RR	RR	0.031	0.039	0.063
関東二条 38 号	RR	RR	RR	0.047	0.031	0.000
関東二条 39 号	RR	RR	RR	0.031	0.023	0.031
関東二条 40 号	RR	RR	RR	0.039	0.008	0.141

- 1) 完全に抵抗性は RR (極強), 僅かに発病は R (強), やや強~極弱までを S (罹病性).
- 2) 木石港 3 および, はがねむぎは, 大麦縞萎縮病抵抗性遺伝資源. それぞれ大麦縞萎縮ウイルス I 型および III 型に抵抗性.
- 3) Mona は, うどんこ病抵抗性遺伝資源.

まとめ

栃木県農業試験場で育成したビールオオムギ品種に

ついて, 家系分析を行った. 育成品種と祖先品種および主要品種との近縁係数を計算した結果, はるな二条との近縁係数が最も高く (平均 0.457), 次いでミサトゴール

デン (同 0.442), ゴールデンメロン (同 0.396) で, 大麦縞萎縮病の抵抗性遺伝資源木石港 3 や, はがねむぎと育成品種との近縁係数は, 0.008~0.078 と低かった. 育成品種について総あたりで近縁係数を計算した結果, お互いの近縁係数は 0.115~0.856 まで広く分布した. はるな二条は, 醸造適性だけでなく収量や成熟期にも影響を与えていることを明らかにした. 近縁係数を用いてクラスター分析を行った結果, 育成品種は 3 群に分類ができ, 遺伝的多様性は育成当初からあまり広がっていないと推察された. 今後, 育成品種の遺伝的背景を拡大するためには, 新たな遺伝資源の探索・導入を図るとともに家系図や近縁係数を考慮しながら育種計画を立てることが重要と考えられる.

第 3 章 大麦縞萎縮ウイルス系統の主産地における発生状況と育種的対応

栃木県は我が国のビールオオムギ生産量の約 4 割を占めている. その生産を大きく脅かしビールオオムギの品質を大きく劣化させる大麦縞萎縮病の発生は, 1985 年に大麦縞萎縮病抵抗性遺伝子 *rym5* を持つミサトゴールデンが育成され, その普及によって一時沈静化の方向に向かった (栃木県農業試験場 2009). しかし, 1991 年に *rym5* を犯す大麦縞萎縮ウイルス III 型が確認されて以来, 1993 年および 1994 年の調査では県南地域の 6 市町で発生が確認されている (五月女ら 1997). 一方, ミサトゴールデンの育成後, きぬゆたか, とね二条, ミカモゴールデン, みょうぎ二条, きぬか二条, タカホゴールデン (以上大麦縞萎縮病抵抗性遺伝子は *rym5*), なす二条 (抵抗性遺伝子は不明, I 型に罹病性) が育成され (ビール酒造組合 2000), 栃木県におけるビールオオムギ生産を支えてきたが, いずれも栃木県内で発生している大麦縞萎縮ウイルス I 型および III 型それぞれに抵抗性ではない.

そこで本章では, ビールオオムギ主産地の栃木県における大麦縞萎縮ウイルス系統の発生状況を調査し, その状況の把握と発生に対応した育種的考察を試みた.

第 1 節 栃木県における主要大麦縞萎縮ウイルス系統の発生状況

材料と方法

1997 年~2001 年は, III 型の発生状況を 3~4 月に栃木県内のビールオオムギ圃場のうち大麦縞萎縮病による

罹病性反応 (葉の黄化とモザイク症状) の示していた圃場 (40~70 圃場/年) を対象に, 罹病株の葉を 3~5 枚採取し, 供試材料とした. 栃木県で栽培されているビールオオムギ品種と抵抗性遺伝子と各大麦縞萎縮ウイルスに対する反応は第 7 表のとおりで, 大麦縞萎縮病抵抗性遺伝子 *rym5* の有無は *rym5* と密接に連鎖しているエステラーゼアイソザイム遺伝子 *Est1-Est2-Est4* (Kahler and Allard 1970, 小西 1989a) の遺伝子型を Havid and Nielsen (1977) の方法に準じデンプン電気泳動法により調査を行い, *Est1-Est2-Est4* の遺伝子型により推定した. 推定した結果を基に, *rym5* を持つ品種が罹病している場合には III 型とした.

2005 年および 2006 年は, 第 4 図に示した栃木県内ビールオオムギ産地 32 カ所 (2005 年 16 カ所, 2006 年 23 カ所) で判別品種を用いて調査を行った. 大麦縞萎縮ウイルス系統の判別は, kashiwazaki ら (1989) の二条オオムギの判別品種を改変し, 第 7 表の品種を用いた. なお, 1976 年に育成された, あまぎ二条以降のビールオオムギ品種は II 型抵抗性で, 現在ビールオオムギ育種に利用されている *rym3* や *rym5* は II 型抵抗性であることから, 栃木市 (I 型検定圃), 宇都宮市 (農試), 壬生町 (III 型検定圃), 大田原市南金丸の 4 カ所を除いた 28 カ所では II 型判別品種のニューゴールデンは除いた. 判別品種の播種は, それぞれの地域の播種適期に準じ前年の 10~11 月に行い, 畦幅 60cm 条播, 播種量約 5gm⁻², その他の栽培条件は地域慣行法に従った. 大麦縞萎縮病の発生状況は, 3~4 月に葉における罹病性反応 (モザイク症状) の有無とエライザ法 (宇杉ら 1984) により感染を確認した. 判別品種の反応で, あまぎ二条, ニューゴールデン, なす二条が罹病し, その他の品種が抵抗性の場合には I 型, あまぎ二条, ニューゴールデン, ミカモゴールデンが罹病し, その他の品種が抵抗性の場合には III 型, サチホゴールデン, スカイゴールデンが抵抗性でその他の品種が罹病性の場合には I 型と III 型の混合感染とした.

結果と考察

1. 栃木県における大麦縞萎縮ウイルス系統の発生状況調査 (1997 年~2001 年)

調査結果を第 4 図に示した. 県南地域 10 市町 (足利市, 栃木市, 佐野市, 小山市, 下野市, 壬生町, 野木町, 大平町, 藤岡町, 岩舟町) 28 カ所と県中地域の宇都宮市 1 カ所合計 12 市町 29 カ所で III 型の発生が確認された. 1994 年までの県南地域 6 市町 (栃木市, 佐野市, 真岡市, 下野市, 上三川町, 壬生町) 16 カ所の発生 (五月女ら

第 7 表 代表的な品種の大麦縞萎縮病抵抗性遺伝子と各大麦縞萎縮ウイルスに対する反応.

代表的な品種	抵抗性 遺伝子	大麦縞萎縮ウイルス系統			
		I	II	III	山口系統
ニューゴールドデン ^d	無し	S	S	S	S
あまぎ二条 ^{t,d}	<i>rym6</i>	S	R	S	S
(御堀裸 3 号)	<i>Rym2</i>	R	S	R	S
ミサトゴールドデン ^{t,d} , きぬゆたか ^t , とね二条 ^t , ミ カモゴールドデン ^t , みょうぎ二条 ^t , きぬか二条 ^t , タカホゴールドデン ^t	<i>rym5</i>	R	R	S	R
なす二条 ^{t,d}	<i>rym</i> ナス *(仮称)	S	R	R	S
サチホゴールドデン ^d , (イシユクシラズ)	<i>rym3</i>	R	R	R	S
スカイゴールドデン ^d	<i>rym3+rym5</i>	R	R	R	R

Kashiwazaki (1989), 五月女ら (1997) より抵抗性遺伝子別に改変.

^t: 1995~2000 年の間に栃木県で栽培されたビールオオムギ品種. ^d: 判別品種.

() は非醸造用大麦品種.

* : なす二条 (寺村ら 1990) の抵抗性遺伝子.

R : 抵抗性, S : 罹病性.

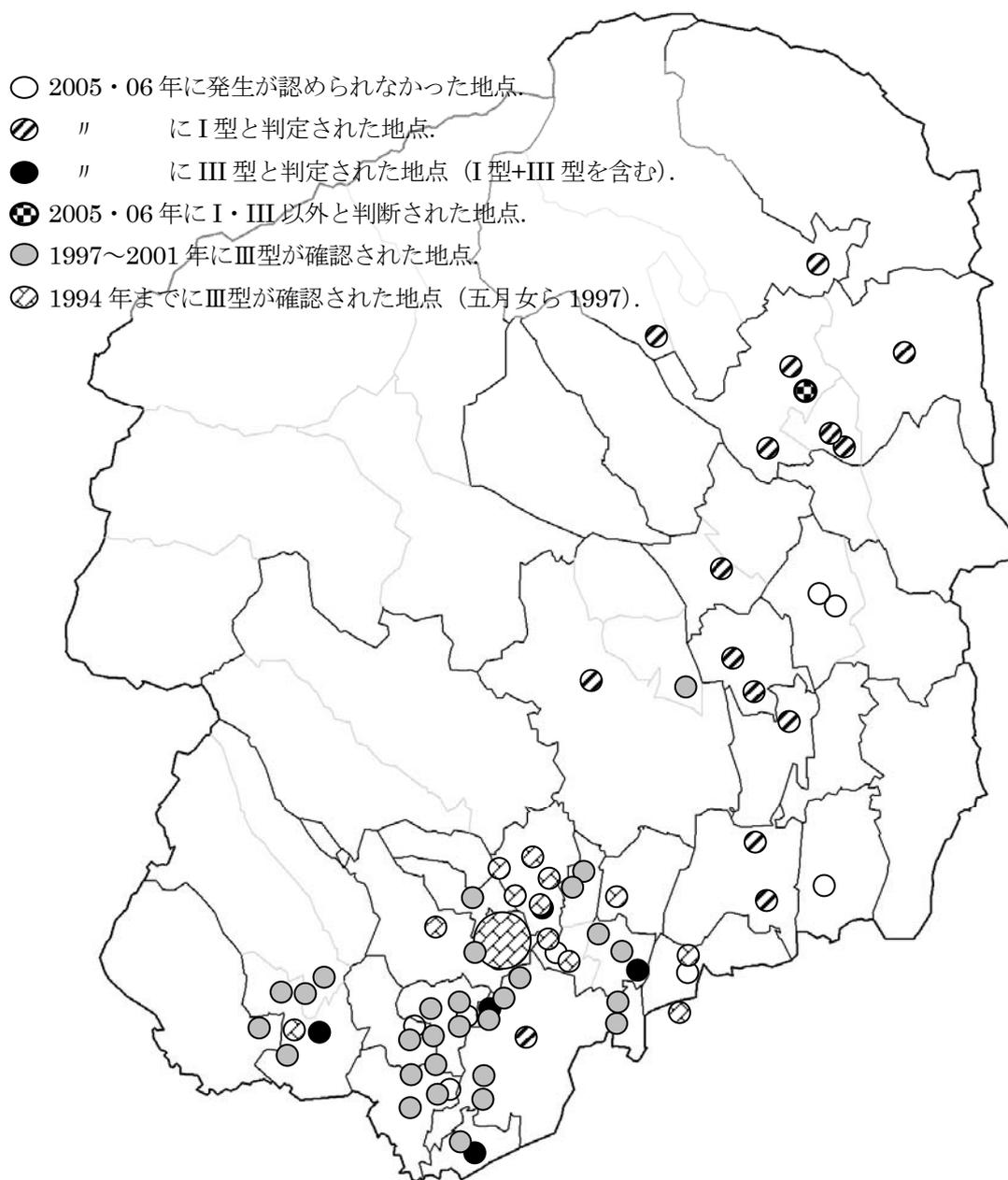
1997) に比べて, 県南地区では多面的に発生が拡大していることが明らかになった.

県南地域は栃木県のビールオオムギの約 5 割の生産を占める主産地で, もともと大麦縞萎縮病が常発化していたため 1985 年以降ミサトゴールドデンやミカモゴールドデン等 *rym5* を持った抵抗性品種が積極的に普及したこと (吉田ら 1988) に加えて, 水田二毛作の推進により田植え時の代かき作業等により大麦縞萎縮ウイルスの拡大が進み (小川ら 1995), 1991 年の III 型発見以降 *rym5* を犯す III 型が蔓延するに至ったと考えられた. さらに, 今回の調査結果で県中地域での発生が確認されたことから, 将来県内の各地で III 型が発生する可能性があるかと推察された.

2. 栃木県における大麦縞萎縮ウイルス系統の発生状況調査 (2005 年~2006 年)

調査結果を第 4 図に示した. 調査地点 32 カ所のうち, 8 カ所 (真岡市長島, 益子町前沢, 南那須町岩子, 那須烏山市藤田, 大平町下高島, 藤岡町蛭沼, 岩舟町五十畑, 下野市川中子) では大麦縞萎縮病の発生は確認できなかった. 主に県中北部の 16 カ所 (大田原市花園・佐良土・大輪・市野沢・蛭畑, 那須塩原市鍋掛・下大貫, 真岡市大内・小林, 小山市穂積, さくら市松山, 高根沢町石末・上高根沢, 芳賀町芳士戸, 栃木市 I 型検定圃, 宇都宮市農試) では I 型が, 県南地域 7 カ所 (下野市別当河原,

小山市上初田, 栃木市大宮・栃木分場, 佐野市堀米, 野木町南赤塚) では III 型あるいは I 型と III 型の混合の発生が認められた. さらに, 大田原市南金丸では *rym5* を持つミカモゴールドデンならびに *rym3* と *rym5* を持つスカイゴールドデンは抵抗性を示したが, *rym3* を持つサチホゴールドデンは罹病が確認され, 既知の I~III 型とは異なる系統が発生していると推定された. 今回の結果から, 栃木県においては一部で未発生の地点があったものの県内のほぼ全域において大麦縞萎縮病が発生しており, 大田原市南金丸を除き, 2001 年までの調査結果と同様に県南地域では III 型が発生し, 県中北部および東部では I 型が発生していることが確認された. これら III 型による被害を回避するためには, 抵抗性品種の作付け以外には方法が無い場合, スカイゴールドデン等 *rym3* を持つ品種の導入は有効と考えられる. また, 県中北部および東部地域では県南地域に比べて水稲・ビールオオムギ・ダイズの輪作体系の推進もあり, 大麦縞萎縮病の発生, 拡大が少なかったことに加えて県内の生産の約 3 割を占める県北地域では III 型には抵抗性であるものの I 型には罹病性なす二条が中心的に作付けされていたことにより, I 型が常発化しているものと推察された. この結果からこれまで普及していた, なす二条では不十分と考えられ, *rym5* または *rym3* を持つ品種の普及が望ましいが, 栃木県大田原市で *rym3* を犯す大麦縞萎縮ウイルス系統が



第4図 栃木県における大麦縮萎縮ウイルス系統の発生状況調査地点。

参考として1994年までにIII型の発生が確認された地点(五月女ら1997)を付加した。1994年までのIII型が確認された地域のうち、大きな丸は栃木市の蔓延化を示す。

見出されたこと、2001年までの調査で既に県中地区の宇都宮市でもIII型の発生が確認されており以後III型発生の可能性が否定できないこと、*rym3*と*rym5*を集積した品種はいずれの系統に対しても抵抗性を示したことから、県中北地域においてもスカイゴールデンの様に*rym3*と*rym5*とを集積した品種の導入が必要と思われる。

なお、大田原市南金丸で見つかった系統は、判別品種の結果では山口系統と同様であり、*rym3*を持つ品種が

罹病したが(第5図)、その同一性についてはわからなかった。

第2節 新たに見出された大麦縮萎縮ウイルス系統

材料と方法

1. 各判別品種による反応

*rym3*の発病が確認された大田原市南金丸圃場に、二条大麦の判別品種に河田・五月女(1998)ならびに五月



第 5 図 大田原系統 (右) および山口系統 (左) における発病の様子。

大田原系統：栃木県大田原市南金丸圃場 (右上, 赤丸はサチホゴールド) と発病の様子 (右下)。

山口系統：山口県農林総合技術センター縞萎縮病特性検定圃場 (左下, 赤丸はサチホゴールド) と発病の様子 (左上)。大麦縞萎縮ウイルス抵抗性遺伝子 *rym3* を持つサチホゴールドは罹病し, 株の萎縮, 葉の黄化, モザイク症状が見られる。

女ら (1997) の判別品種を加えた 14 品種を判別品種 (第 8 表) として, 2005 年および 2006 年 10 月に 2 区制にて畦幅 60cm 条播, 播種量約 5gm², その他の栽培条件は地域慣行法に準じて播種し, 翌年 3~4 月にモザイクの発生程度や黄化程度, エライザ法にて抵抗性反応を調査した。また, 山口系統圃場においても同様に 14 判別品種を 1997 年および 2006 年 10 月に 2 区制にて畦幅 60cm 条播, 播種量約 5gm², その他の栽培条件は地域慣行法に準じて播種し, 翌年 3 月にモザイクの発生程度や黄化程度, エライザ法にて抵抗性反応を調査した。

2. ウイルスゲノムの分子系統解析

大田原市南金丸系統 (以下, 大田原系統) に加えて, I 型, II 型, III 型, 山口系統について, ウイルスゲノムの coat protein (以下, CP) の塩基配列およびアミノ酸配列を調査し, 相同性検索を行った。解析は第 9 表に示した品種について, 2007 年 3 月に II 型を除く各圃場より罹病株 4~5 株を採集し, 大麦縞萎縮ウイルスのゲノム全長をいくつかの領域に分けて PCR, クローニング, シークエンスし, 塩基配列を決定した。なお, 山口系統

については 2008 年 3 月に圃場の広範囲からサンプリングができるようにニューゴールドおよびキカイハダカ (以上大麦縞萎縮病抵抗性遺伝子無し) と同抵抗性遺伝子 *rym3* を持つ 7 品種を 2 反復の試験区から 2 株ずつ採集し, 解析を行った。なお, II 型については Kashiwazaki ら (1990,1991) の解析データを用いた。また, 相同性の比較に加えて, アミノ酸配列を基にした系統樹を DNA, タンパク質配列データの分子進化・系統学的解析ソフトウェア MEGA 4 (Tamura ら 2007) を用いて作成した。

結果と考察

1. 各判別品種等による反応

供試した 14 品種の結果を第 9 表に示した。なお, 第 8 表には I, II, III 型の結果 (河田・五月女 1998) も併せて記載した。大田原系統は, I 型系統に似た反応を示したが, サチホゴールド, はがねむぎ (以上抵抗性遺伝子は *rym3*), 縞系 4 (徳島モチ裸) (同 *rym7*), 早木曾 2 号および浦項皮麦 3 (同不明) は罹病し, 既知の I 型, II 型, III 型とは品種の反応, 病原性が異なることが確認さ

第8表 大麦縞萎縮ウイルス系統に対する各品種の抵抗性反応.

品種名	大麦縞萎縮ウイルス系統					抵抗性 遺伝子
	大田原系統	山口系統	I (栃木)	II	III	
ニューゴールドデン	S	S	S	S	S	無し
あまぎ二条	S	S	S	R	S	<i>rym6</i>
御堀裸3号	R	R	R	S	R	<i>Rym2</i>
ミカモゴールドデン	R	R	R	R	S	<i>rym5</i>
サチホゴールドデン	S	S	R	R	R	<i>rym3</i>
はがねむぎ	S	S	R	R	R	<i>rym3</i>
なす二条	S	S	S	R	R	<i>rym</i> ナス* (仮称)
スカイゴールドデン	R	R	R	R	R	<i>rym3,rym5</i>
中泉在来	R	R	R	R	R	<i>rym3,rym5</i>
木石港3	R	R	R	R	R	<i>rym1,rym5</i>
縞系4 (徳島モチ裸)	S	S	R	R	R	<i>rym7t</i>
三月	R	S	R	S	S	<i>unkown</i>
早木曾2号	S	R	R	—	R	<i>unkown</i>
浦項皮麦3	S	R	R	—	R	<i>unkown</i>

R: 抵抗性, S: 罹病性, —: 不明.

大田原系統は2006年および2007年, 山口系統は1998年および2007年調査結果. 両年間に反応の差は無かった.

I, II, III型は河田・五月女(1998)より引用, 付記した.

* : なす二条(寺村ら1990)の抵抗性遺伝子.

れた. 山口系統もI型に似た反応を示したが, サチホゴールドデン, はがねむぎ, 縞系4(徳島モチ裸), 三月は罹病し, 既知のI, II, III型とは品種の反応が異なっていた. 加えて, 大田原系統と山口系統では, 早木曾2号および浦項皮麦3と三月の反応が異なっていた. これらの結果から, 大田原系統と山口系統は既知のI, II, III型とは異なる新しい系統で, さらにそれぞれが違った系統の可能性が示唆された. また, スカイゴールドデン(同*rym3*と*rym5*), 中泉在来(同*rym3*と*rym5*)(河田1989), 木石港3(同*rym1*と*rym5*)(Konishiら1997)はいずれの系統にも抵抗性であったことから, これらの品種は大麦縞萎縮病抵抗性母本として有用である.

2. ウイルスゲノムの分子系統解析

大田原系統は, 山口系統圃場で罹病したニューゴールドデンより採集したIV型CP(Okadaら2008)と塩基配列およびアミノ酸配列が100%一致したため, IV型と推定された. それぞれのCPの相同性検索結果を第6図に示した. 大田原系統は, 山口系統やI, II, III型とは一致しなかった. また, 山口系統は大田原系統やI, II, III型とは一致せず, また2007年および2008年に調査した

全ての株は同一の配列を示しIV型は検出されなかった. 次に, それぞれの系統のアミノ酸配列から作成した系統樹を第7図に示した. 大田原系統はI型とクラスターを組むものの, その確率はブートストラップ値より56%と高くなく, またI型とはかなり変異していることが明らかとなった. また, 山口系統はどの系統とも近縁ではなく, 独自の進化を遂げた可能性が示唆された.

3. ウイルスの分類と育種的対応

以上, 品種(抵抗性遺伝子)の反応(病原性), 相同性, 分子系統解析から, 大田原系統はIV型, 山口系統はI, II, III, IV型と異なる新しいV型であると考えられる. これまで, 大麦縞萎縮ウイルス系統(I, II, III型)は品種(抵抗性遺伝子)の反応(病原性)のみで分類された(kashiwazakiら1989)が, 今回, 大田原系統ならびに山口系統の分類にあたっては, 品種(抵抗性遺伝子)の反応, 塩基やアミノ酸配列の相同性, 系統樹による分子系統解析とを用いて試みた. その結果, 大田原系統はIV型, 山口系統はV型であることが明らかとなった. IV型とV型の判別は, 早木曾2号または浦項皮麦3と三月により可能であり, これらを判別品種として用いればよ

第 9 表 分子系統解析供試材料と結果.

ホスト品種名	大麦縞萎縮ウイルス系統					大麦縞萎縮ウイルス 抵抗性遺伝子
	大田原系統	山口系統		I (栃木)	III	
		2006 年	2007 年			
ニューゴールデン	IV	V	V	I	III	無し
あまぎ二条	IV	—	—	I	III	<i>rym6</i>
ミカモゴールデン	—	—	—	—	III	<i>rym5</i>
なす二条	IV	—	—	I	—	<i>rym</i> ナス* (仮称)
キカイハダカ	—	—	V	—	—	無し
サチホゴールデン	IV	V	V	—	—	<i>rym3</i>
栃系 332	—	—	V	—	—	<i>rym3</i>
栃系 333-1	—	—	V	—	—	<i>rym3</i>
大系 RF0638	—	—	V	—	—	<i>rym3</i>
吉系 78	—	—	V	—	—	<i>rym3</i>
吉系 80	—	—	V	—	—	<i>rym3</i>
大系 RF0385	—	—	V	—	—	<i>rym3</i>

—は未供試.

2006 年は 1 反復で罹病株を 4~5 株, 2007 年は 2 反復で罹病株 2 株, でサンプリングし解析した.

* :なす二条 (寺村ら 1990) の抵抗性遺伝子.

II 型については Kashiwazaki ら(1990,1991)の解析データを用いた.

い. 今回新たに見出された IV 型および V 型を含め I~V 型抵抗性ビールオオムギ品種育成のためには, 大麦縞萎縮病抵抗性遺伝子 *rym1* と *rym5*, あるいは *rym3* と *rym5* の集積が有効である. 現在のところ, これら抵抗性遺伝子を集積したビールオオムギ品種はスカイゴールデンだけで, 非醸造用二条オオムギにおいても, とちの

いぶき (渡邊ら 2008) のみである. また, *rym1* はオオムギマイルドモザイクウイルス Barley mild mosaic virus に抵抗性であることから (Konishi ら 2002), 今後, 大麦縞萎縮病の系統分化とオオムギマイルドモザイクウイルス (柏崎 1990, Nomura ら 1996) の発生, 拡大に備えるためには, *rym1*, *rym3*, *rym5* を集積した品種

大麦縞萎縮ウイルス系統	大田原系統	山口系統	I	II	III
大田原系統		96	97	97	97
山口系統	97		97	97	97
I	97	96		98	98
II	96	96	98		97
III	97	96	98	98	

アミノ酸レベル

塩基レベル

第 6 図 大麦縞萎縮ウイルスゲノムの相同性検索結果 (coat protein) (9%).



第7図 アミノ酸配列を基にした系統樹 (coat protein)。

作成は、MEGA 4 (Tamura ら 2007) にて行った。
系統樹の数値は、ブートストラップ確率値。

育成を図ることが重要と考えられる。これまで大麦縞萎縮病抵抗性ビールオオムギの育成において、抵抗性遺伝子の導入から新品種の育成まで 20 年以上を要している (吉田ら 1988) が、集積品種の育成を加速化するためには、それぞれの抵抗性遺伝子に関連する DNA マーカー (Okada ら 2003, Saeki ら 1999, Pellio ら 2005) 等を用い効率的に育種を進めることが必要である。さらに、近年 *rym8*, *rym9*, *rym10*, *rym11*, *rym12* 等新しい抵抗性遺伝子が同定され、I 型についての抵抗性反応は明らかにされている (Konishi ら 2002) が、II, III, IV, V 型での反応は不明である。それぞれの抵抗性遺伝子と大麦縞萎縮ウイルス系統との反応を調査し、有効な遺伝子の選定と利用、集積を進めることが重要と考えられる。加えて、昨今、大麦縞萎縮ウイルスゲノム構造の解析が進み、ウイルス系統の VPg 領域等の変異も認められてきており (Nishigawa ら 2008)、またオオムギゲノムでウイルス抵抗性に関わる eIF4E 領域等も明らかにされてきている (Stracke ら 2007)。今後、各抵抗性遺伝子と大麦縞萎縮ウイルス系統との相互作用や機作が解明されれば、より高度な抵抗性となるべく遺伝子の選定、組合せも明らかとなり、抵抗性育種が進むものと推察される。

いずれにおいても、大麦縞萎縮病抵抗性品種の育成と併せて、産地における系統の発生の把握と系統発生に対応した品種を効率的に普及することにより、ビールオオムギのより一層の安定生産が実現するものと考えられる。

まとめ

栃木県において大麦縞萎縮病の発生状況を調査したところ、県南地域を中心に III 型の発生、拡大が進み、

常発化している。この III 型による被害を回避するためには、*rym3* を持つ品種の導入は有効である。また、県中北地域では I 型が発生していることが確認され、さらに大田原市で *rym3* を犯す IV 型が発見されたことから、今後はスカイゴールデンと同様に大麦縞萎縮病抵抗性遺伝子 *rym3* と *rym5* を集積した品種、あるいは *rym1* と *rym5* あるいは *rym1*, *rym3*, *rym5* を集積した品種の育成、普及が必要と考えられる。

第4章 エステラーゼアイソザイムを利用した大麦縞萎縮病抵抗性遺伝子の集積法

今回、*rym3* と *rym5* とを集積した品種は I~V 型全てに抵抗性となることが明らかになり、ビールオオムギの新品種育成にあたっては *rym3* と *rym5* とを集積することが望ましい。抵抗性品種を育成する上で、大麦縞萎縮ウイルス系統毎の検定圃場が利用できれば選抜効率は高まるが、土壌伝染性ウイルス病では単一系統の汚染圃場の確保と維持は困難である。また、抵抗性遺伝子に密接に連鎖する標識となる遺伝子がある場合には同様に選抜に利用できるがエステラーゼアイソザイム遺伝子ブロック *Est1-Est2-Est4* と密接に連鎖している *rym5*, *rym4*, *rym1* に対する DNA マーカー (Graner and Bauer 1993, Okada ら 2003) を除いて、*Rym2*, *rym3* 等の実用的な標識遺伝子は発見されていない。

ところで、アイソザイムはその多型により作物の起源地の推定 (中川原 1976)、遺伝的分化 (小西 1989b) や品種識別 (Muramatsu 1983) 等に利用されてきた。育種的な利用としては、ニラのアポミクシス率の推定 (Kojima ら 1991) やニラの雑種選抜 (木村 1994)、選抜標識としてトマト (Stevens and Rick 1986) やインゲン (Weeden ら 1984) 等病害抵抗性遺伝子と緊密に連鎖しているアイソザイム遺伝子等の報告がある。オオムギでは、アイソザイムは既に 21 種類の酵素に関する 42 遺伝子座が明らかにされ (Shepherd and Islam 1987)、先述のエステラーゼを用いて *rym5* を選抜する方法が報告されている (小西 1989a, 早乙女ら 1990, 河田・鶴 1990)。しかし、九州沖縄農業研究センター等で適用した例 (河田・鶴 1990) はあるが日常的に品種育種に利用している報告はない。また、種子貯蔵タンパク等の多型

を標識とした遺伝子の集積の試みは、オオムギでもホルデンによるうどんこ病抵抗性遺伝子 *MI-k* と *MI-a* の集積 (Jensen ら 1980) 等が報告されているが、品種育成に日常的に用いた例は少ない。

そこで本章では、エステラーゼアイソザイム遺伝子型と大麦縞萎縮病汚染圃場を用いて *rym3* と *rym5* とを集積する方法を検討し、集積品種を育成しようとした。

第 1 節 大麦縞萎縮病抵抗性遺伝子の推定と集積法

材料と方法

供試材料は、1990 年および 1991 年に交配をした *rym5* と *rym3* を単独で持つビールオオムギ品種間の組合せである (第 10 表)。これら材料は、栃木県栃木市の栃木県農業試験場栃木分場 (以下栃木分場) におけるビールオオムギ育種ルーチンに準じ、交配後、 $F_2 \sim F_3$ は世代促進操作を伴う集団栽培にて養成し、 F_4 は穂別系統として栃木分場内 I 型圃場において栽培を行い、大麦縞萎縮病抵抗性を示し、出穂期、草型、穂数、穂型、倒伏程度等の農業形質で選抜を行った F_5 派生系統 19 組合せ 645 品種と、さらに F_5 で農業形質について選抜した F_6 派生系統 16 組合せ 129 系統を用いた。

rym5 に密接に連鎖し選抜標識となる *Est1-Est2-Est4* 遺伝子型は、Havid and Nielsen (1977) の方法に準じデンプン電気泳動法により決定した (第 8 図)。泳動用の材料は 11 月上旬に圃場に播種し自然条件で養成し、翌年の 2~3 月に最上位の新葉 (第 7~9 葉) の葉身を 1 品種あたり 5 個体供試した。大麦縞萎縮病抵抗性遺伝子型は、2 ヶ年にわたり栃木分場内 I 型圃場と栃木県壬生町の III 型圃場に材料を播種し、大麦縞萎縮病のモザイク病斑の有無により抵抗性を検定し推定した。なお、これら汚染圃場は ELISA 法による抗原抗体反応により麦類萎縮病の発生がないことおよび大麦縞萎縮病の発生を確認した。さらに、*rym3* と *rym5* を集積していると推定した品種のうち、ビール醸造用品質等で選抜した 14 品種について、I 型、III 型および山口新型圃場にてその抵抗性を確認した。

また、大麦縞萎縮病抵抗性ビールオオムギ品種育成のための母材として *Rym2*、*rym3* および *rym5* と非対立遺伝子と考えられる抵抗性遺伝子を持つオオムギ品種のエステラーゼアイソザイム遺伝子型を電気泳動法により調査した。

なお、本材料は世代促進操作を伴う集団栽培にて養成し、 F_2 および F_3 世代における次世代種子は株由来でなく集団を混合して早熟の穂を中心に選抜したものの可能性があ

るため、遺伝子の出現頻度の確認として 1 個体から 1 種子を取る SSD 法 (Single Seed Descent: 単粒法) (Goulden 1939) を用いて養成したイシユクシラズ (*+/+,rym3/rym3*) / ニシノチカラ (鶴ら 1990) (*rym5/rym5,+/+*) の無選抜の F_8 221 品種を I 型および III 型圃場に約 20 粒播種し、大麦縞萎縮病抵抗性反応等を調査した。

結果と考察

1. エステラーゼアイソザイム遺伝子 *Est1-Est2-Est4* と大麦縞萎縮ウイルス圃場を用いた抵抗性遺伝子型の推定

供試した材料の親品種の大麦縞萎縮ウイルス系統に対する反応と *Est1-Est2-Est4* 遺伝子型の調査結果を第 11 表および第 12 表に示した。*rym5* を持つ交配親品種のエステラーゼアイソザイム遺伝子型はすべて *Ca-null-Nz/Ca-null-Nz* (木石港型)、*rym3* を持った交配親の遺伝子型は全て *Pr-Fr-Su/Pr-Fr-Su* (Prior 型) であった (第 12 表)。ただし、*rym3* を持つ、はがねむぎは木石港型であり、*rym5* の交配親と同じ型であった。

rym5 とエステラーゼアイソザイム遺伝子は約 1~6% の組換え価で連鎖していることが知られており (Konishi and Matsuura 1989c, 河田 1989)、本実験に供試した材料では、理論的には高い確率で交雑後代にて *Ca-null-Nz/Ca-null-Nz* (木石港型) の品種は *rym5* を持つと推定された。ただし、交配親となる品種によっては *rym3* で *Ca-null-Nz/Ca-null-Nz* (木石港型) の場合もあることが判明したため、エステラーゼアイソザイムを調査する前に交配親の遺伝子型を調査しておかなければならない。

ウイルス系統に対する反応では、*rym5* 品種は I 型圃場で抵抗性かつ III 型圃場では罹病性、*rym3* 品種は I 型および III 型圃場では抵抗性であった (第 11 表)。ここで、*rym5* および *rym3* は劣性遺伝子であるため両ヘテロ遺伝子型 (*rym5+/+,rym3+/+*) も罹病性であるが、本材料は F_4 穂別系統で I 型圃場にて完全な抵抗性を選抜したものであるため、*rym5* または *rym3* のどちらかはホモ化しており、大麦縞萎縮病抵抗性遺伝子型は *rym5/rym5,rym3/rym3* , *rym5/rym5,rym3/+* , *rym5/rym5,+/+* , *rym5+/+,rym3/rym3* , *+/+,rym3/rym3* のいずれかであり、また III 型圃場で抵抗性の品種は *rym3* をホモで持っていると考えられた。

以上から、エステラーゼアイソザイム遺伝子型、I 型および III 型圃場における反応を調査することにより、品種の大麦縞萎縮病抵抗性遺伝子型が推定できる。すな

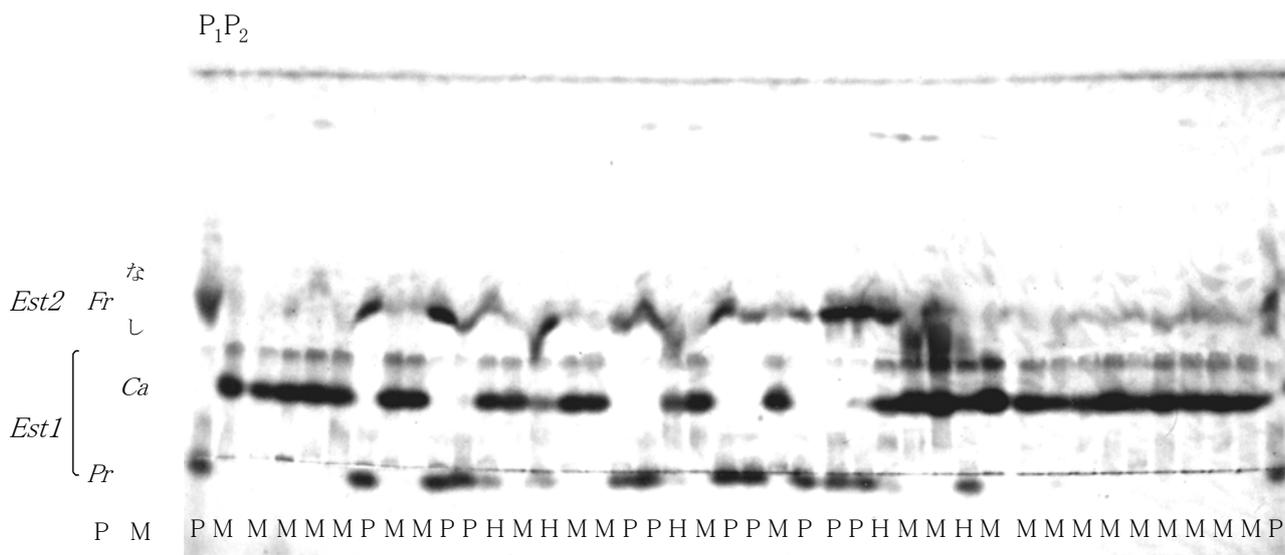
第10表 大麦縞萎縮病抵抗性遺伝子の推定と集積法の開発に用いた材料.

世代	組合せ 番号	組 合 せ			系統数	抵抗性遺伝子源	
		(<i>rym5</i>)	/	(<i>rym3</i>)		<i>rym5</i>	<i>rym3</i>
F ₅	1	ヤチホゴールド	/	栃系 220 (♂)	38	木石港 3	はがねむぎ
	2	"	/	栃系 221 (♂)	23	"	"
	3	"	/	栃系 222 (♂)	26	"	"
	4	"	/	栃系 223 (♂)	30	"	"
	5	"	/	栃系 226 (♂)	52	"	"
	6	タカホゴールド	/	関東二条 29 号 (♀)	25	"	"
	7	"	/	栃系 220 (♂)	55	"	"
	8	"	/	栃系 221 (♂)	45	"	"
	9	"	/	栃系 222 (♂)	22	"	"
	10	"	/	栃系 223 (♂)	33	"	"
	11	"	/	栃系 226 (♂)	55	"	"
	12	"	/	" (♀)	27	"	"
	13	九州二条 11 号	/	関東二条 29 号 (♂)	39	"	"
	14	"	/	栃系 220 (♂)	63	"	"
	15	"	/	栃系 221 (♂)	38	"	"
	16	"	/	栃系 223 (♂)	10	"	"
	17	"	/	栃系 226 (♂)	26	"	"
	18	大系 R3426	/	関東二条 29 号 (♀)	23	"	"
	19	"	/	栃系 226 (♀)	15	"	"
計	19	4		6	654		
F ₆	20	アサカゴールド	/	関東二条 29 号 (♀)	13	木石港 3	はがねむぎ
	21	ヤチホゴールド	/	新田二条 14 号 (♂)	4	"	"
	22	"	/	" (♀)	15	"	"
	23	"	/	栃系 216 (♀)	3	"	はがねむぎ
	24	"	/	栃系 217 (♀)	5	"	Ea52
	25	タカホゴールド	/	関東二条 29 号 (♀)	12	"	はがねむぎ
	26	"	/	栃系 216 (♀)	7	"	"
	27	"	/	栃系 217 (♀)	9	"	Ea52
	28	関東二条 25 号	/	関東二条 29 号 (♀)	8	"	はがねむぎ
	29	"	/	栃系 216 (♀)	13	"	"
	30	"	/	栃系 217 (♀)	15	"	Ea52
	31	"	/	大系 R3156 (♀)	12	"	はがねむぎ
	32	関東二条 26 号	/	関東二条 29 号 (♀)	5	"	"
	33	"	/	栃系 216 (♀)	2	"	"
	34	"	/	栃系 217 (♀)	2	"	Ea52
	35	"	/	大系 R3156 (♀)	4	"	はがねむぎ
	計	16	5		4	129	

組合せにおける♀は母親, ♂は父親を表す.

わち, I 型圃場で抵抗性を示しエステラーゼアイソザイムが *Ca-null-Nz/Ca-null-Nz* (木石港型) で III 型圃場で抵抗性を示す品種の抵抗性遺伝子型は

rym5/rym5,rym3/rym3, III 型圃場で罹病性の品種は *rym5/rym5,+/+*または *rym5/rym5,rym3/+*, エステラーゼアイソザイムが *Ca-null-Nz/Pr-Fr-Su* (ヘテロ型) で



第 8 図 F₅ 個体におけるエステラーゼアイソザイム遺伝子型の一例。

M : *Ca-null-Nz/Ca-null-Nz*(木石港型), P : *Pr-Fr-Su/Pr-Fr-Su*(Prior 型),

H : *Ca-null-Nz/Pr-Fr-Su*(ヘテロ型).

Est4 は, 供試材料が 3 月中旬 (9 葉期) での採取であったため, 見えにくくなっている。

III 型圃場で抵抗性品種は *rym5/+*, *rym3/rym3*, エステラーゼアイソザイムが *Pr-Fr-Su/Pr-Fr-Su* (Prior 型) で III 型圃場で抵抗性品種は *+/+*, *rym3/rym3* と推定され, それ以外は *rym5* と *Est1-Est2-Est4* との組換え体と考えられた (第 12 表).

2. I 型圃場での *rym3* の選抜方法および *rym3* と *rym5* の集積方法

rym5 を持つ品種と *rym3* を持つ品種の交雑後代において, エステラーゼアイソザイム遺伝子型を利用して I 型圃場で *rym3* を選抜する方法と, *rym3* と *rym5* とを

第 11 表 供試材料の親品種および主要な大麦縞萎縮ウイルス抵抗性品種の抵抗性遺伝子とエステラーゼアイソザイム *Est1-Est2-Est4* の遺伝子型及び大麦縞萎縮ウイルス品種に対する反応。

品種名	大麦縞萎縮ウイルス抵抗性遺伝子	エステラーゼアイソザイム遺伝子型 <i>Est1-Est2-Est4</i>	大麦縞萎縮ウイルス品種に対する反応**	
			I 型	III 型
タカホゴールド*, ヤチホゴールド*, アサカゴールド*, 関東二条 25 号*, 関東二条 26 号*, ミナルゴールド*, 大系 R3426*	<i>rym5</i>	<i>Ca-null-Nz</i> (木石港型)	RR	S
関東二条 29 号*, 新田二条 14 号*, 栃系 216*, 栃系 217*, 栃系 220*, 栃系 221*, 栃系 222*, 栃系 223*, 栃系 226*, 大系 R3156*, (イシュクシラズ) (Ea52), (倍取) (はがねむぎ) (御堀裸 3 号)	<i>rym3</i>	<i>Pr-Fr-Su</i> (Prior 型)	RR	RR
(Sonate)	<i>Rym2</i>	<i>Af-null-Su</i>	RR	RR
(Dianad)	<i>rym4</i>	<i>Pr-Fr-Su</i>	R	R
なす二条	<i>unkown</i>	<i>Ca-Un-Su</i>	S	RR

*本実験に供試した材料の親品種。以下の表では同一遺伝子型の親は込みにして計算した。

品種名の()は非醸造用オオムギ品種, その他はビールオオムギ品種。

** RR:完全に抵抗性, R:僅かに発病, S:罹病性。

第 12 表 エステラーゼアイソザイム *Est1Est2Est4* 遺伝子型と III 型圃場での反応による大麦縮萎縮ウイルス抵抗性遺伝子型の推定.

エステラーゼアイソザイム	<i>Ca-null-Nz/Ca-null-Nz</i> (木石港型)		<i>Ca-null-Nz/Pr-Fr-Su</i> (ヘテロ型)		<i>Pr-Fr-Su/Pr-Fr-Su</i> (Prior 型)	
	RR	S	RR	S	RR	S
III型に対する反応						
抵抗性遺伝子型	<i>rym5/rym5</i> , <i>rym3/rym3</i>	<i>rym5/rym5</i> , <i>rym3/+</i> , <i>rym5/rym5</i> , <i>+/+</i>	<i>rym5/+</i> , <i>rym3/rym3</i>		<i>+/+</i> , <i>rym3/rym3</i>	
(組換型*)	<i>rym5/+</i> , <i>rym3/rym3</i>		<i>rym5/rym5</i> , <i>rym3/rym3</i>	<i>rym5/rym5</i> , <i>rym3/+</i>	<i>rym5/rym5</i> , <i>rym3/rym3</i>	<i>rym5/rym5</i> , <i>rym3/+</i>
	<i>+/+</i> , <i>rym3/rym3</i>		<i>+/+</i> , <i>rym3/rym3</i>	<i>rym5/rym5</i> , <i>+/+</i>	<i>rym5/+</i> , <i>rym3/rym3</i>	<i>rym5/rym5</i> , <i>+/+</i>

供試材料は全て大麦縮萎縮ウイルス I 型に抵抗性を示したものを供試.

* エステラーゼアイソザイム *Est1Est2Est4* 遺伝子と *rym5* との間で組換え.

第 13 表 F₅ 供試品種のエステラーゼアイソザイム *Est1Est2Est4* 遺伝子型及び大麦縮萎縮ウイルス III 型圃場における抵抗性反応.

エステラーゼアイソザイム	大麦縮萎縮ウイルス III 型に対する反応				総計	エステラーゼアイソザイムの分離理論値
	RR	S	計	不明		
<i>CanullNz/CanullNz</i> (木石港型)	166	259	425	40	465 (0.72)	422 (0.65)
<i>CanullNz/PrFrSu</i> (ヘテロ型)	27	12	39	1	40 (0.06)	50 (0.08)
<i>PrFrSu/PrFrSu</i> (Prior 型)	116	6	122	18	140 (0.22)	174 (0.27)
計	309 (0.53)	277 (0.47)	586	59	645	
大麦縮萎縮ウイルス III 型抵抗性反応の理論値	383 (0.65)	203 (0.35)	586			

供試材料は 19 組合せ, 645 品種.

エステラーゼアイソザイムと *rym5* の組換え価は 0 として算出. () の数字は出現頻度.

χ^2 (大麦縮萎縮 III 型抵抗性反応)=41.46 (P<0.005) (不明は除く), χ^2 (エステラーゼ)=12.83 (P<0.005).

第 14 表 F₆ 供試品種のエステラーゼアイソザイム *Est1Est2Est4* 遺伝子型及び大麦縮萎縮ウイルス III 型圃場における抵抗性反応.

エステラーゼアイソザイム	大麦縮萎縮ウイルス III 型に対する反応				総計	エステラーゼアイソザイムの分離理論値
	RR	S	計	不明		
<i>CanullNz/CanullNz</i> (木石港型)	26	68	94	2	96 (0.74)	87 (0.67)
<i>CanullNz/PrFrSu</i> (ヘテロ型)	10	2	12	0	12 (0.09)	5 (0.04)
<i>PrFrSu/PrFrSu</i> (Prior 型)	20	1	21	0	21 (0.16)	37 (0.29)
計	56 (0.44)	71 (0.56)	127	2	129	
大麦縮萎縮ウイルス III 型抵抗性反応の理論値	85 (0.67)	42 (0.33)	127			

供試材料は 16 組合せ, 129 系統.

Est1-Est2-Est4 と *rym5* の組換え価は 0 として算出. () の数字は出現頻度.

χ^2 (大麦縮萎縮ウイルス)=31.10 (P<0.005) (不明は除く), χ^2 (エステラーゼ)=18.02 (P<0.005).

集積する方法を検討した. 前述の大麦縮萎縮病抵抗性遺伝子型推定に従い, *rym5* を持つ品種と *rym3* を持つ品

種との交雑後代 F₅ 系統 19 組合せ 645 系統, F₆ 系統 16 組合せ 129 系統の遺伝子型を推定した. F₅ および F₆ 系

第 15 表 F₅ 及び F₆ 系統における大麦縞萎縮病抵抗性遺伝子の出現度数と頻度.

世 代	組合 せ数	<i>rym5/rym5,rym3/rym3</i>				計	χ^2	P
		<i>rym5/rym5, +/+</i>	<i>rym5/+ ,rym3/rym3</i>	<i>+/+ ,rym3/rym3</i>				
F ₅	19	166 0.28 (180) (0.31)	277 0.47 (203) (0.35)	27 0.05 (45) (0.08)	116 0.20 (158) (0.27)	586	46.55	P<0.005
F ₆	16	26 0.20 (44) (0.35)	71 0.56 (42) (0.33)	10 0.08 (5) (0.04)	20 0.16 (37) (0.29)	127	41.18	P<0.005

上段は出現度数, 下段は出現頻度.

()は各遺伝子型における理論値.

第 16 表 F₅ 及び F₆ 品種におけるエステラーゼアイソザイム遺伝子と大麦縞萎縮病抵抗性遺伝子 *rym5* との組換え型のうち Prior 型 *rym5/rym5, +/+* の出現率.

世代	供試品種数	Prior 型* 品種数	Prior 型大麦縞萎縮ウイルス III 型罹病性品種数	組換え型**出現率(%)	誤選抜率*** (%)
F ₅	586	122	6	1.02	4.92
F ₆	127	21	1	0.78	4.76

* *PrFrSu/PrFrSu*.

** 大麦縞萎縮ウイルス III 型罹病性品種数 / 供試品種数 × 100.

*** Prior 型大麦縞萎縮ウイルス III 型罹病性品種数 / Prior 型品種数 × 100.

第 17 表 *rym5* と *rym3* を集積していると推定された品種*の大麦縞萎縮ウイルス I 型, III 型および山口新型圃場における反応.

供試 品種数	大麦縞萎縮ウイルスに対する反応						<i>rym5</i> とエステラーゼアイソザイム遺伝子との組換え型出現率** (%)
	I 型		III 型		山口新型		
	RR	S	RR	S	RR	S	
14	14	0	14	0	13	1	7.14

**rym5/rym5,rym3/rym3*.

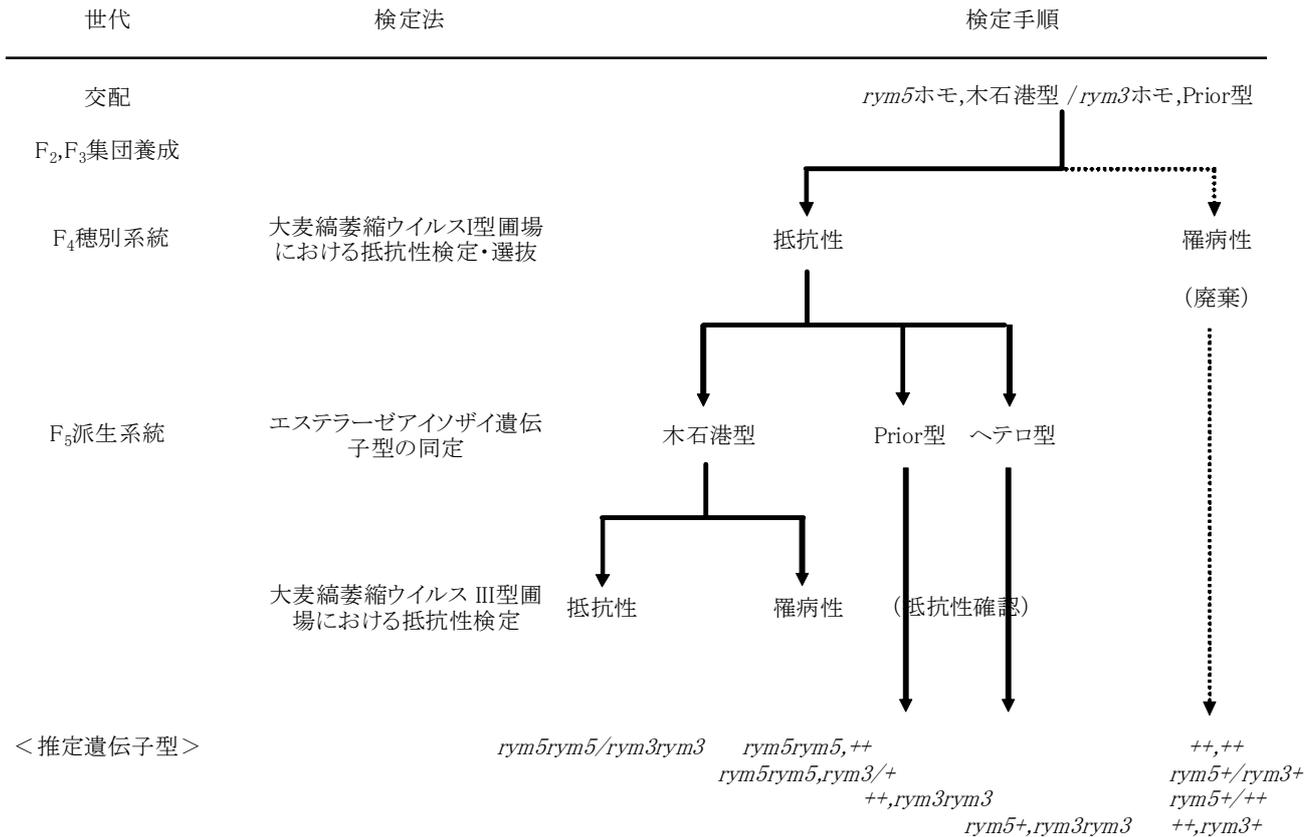
rym5 を持つ品種は, I 型: RR, III 型: S, 山口新型: RR. *rym3* を持つ品種は, I 型: RR, III 型: RR, 山口新型: S.

**大麦縞萎縮ウイルス山口新型に対する RR 数/品種数 × 100.

統のエステラーゼアイソザイム遺伝子型と III 型圃場における結果を第 13 表および第 14 表, これより推定した遺伝子型とその出現頻度を第 15 表に示した.

本章に示した大麦縞萎縮病抵抗性遺伝子型推定法で, I 型圃場で抵抗性を示しかつエステラーゼアイソザイムが *Pr-Fr-Su/Pr-Fr-Su* (Prior 型) の品種は, *rym5* とエステラーゼアイソザイム遺伝子とが組換えを起こさない限り抵抗性遺伝子は *+/+,rym3/rym3* となる. このことから, I 型圃場でエステラーゼアイソザイムが *Pr-Fr-Su/Pr-*

Fr-Su (Prior 型) の抵抗性品種を選抜すれば, *rym3* をホモに持った品種が選抜できると考えられ, この場合, *rym5* と *Est1-Est2-Est4* が密接に連鎖していることから, 組換え体が出現する確率は低いと推察され, 第 16 表に示したように, 供試材料におけるこの組換え体の出現率は, 0.78~1.02%であった. また, *rym5/rym5, +/+* の遺伝子型の品種を選抜する誤選抜率は 4.76~4.92%で, 次世代で抵抗性の再確認を行えば育種上は問題ないと考えられた. また, I 型および III 型圃場で抵抗性を



第9図 大麦縞萎縮病抵抗性育種における遺伝子推定手順.

木石港型 : *Ca-null-Nz/Ca-null-Nz*, ヘテロ型 : *Ca-null-Nz/Pr-Fr-Su*, Prior型 : *Pr-Fr-Su/Pr-Fr-Su*

示し, エステラーゼアイソザイムが *Ca-null-Nz/Ca-null-Nz* (木石港型) の品種を選抜すれば, 抵抗性遺伝子型は *rym5rym5, rym3rym3* となる. この場合も組換え体を選抜する危険性は低いと考えられ, エステラーゼアイソザイム遺伝子型, I型およびIII型圃場での抵抗性検定により, *rym3* と *rym5* とを両方持つ複合抵抗性遺伝子集積品種を選抜できると考えられた. 第17表に本材料にて *rym3* と *rym5* を集積していると推定した品種のうち, ビール醸造用品質等で優れた14品種のI型, III型および型山口新型圃場における反応の結果を示した. *rym3* と *rym5* を集積した品種は, I型, III型および山口新型圃場全てで抵抗性となるが, 14品種のうち13品種が山口新型圃場で抵抗性を示し, これら14品種のうち山口新型圃場で罹病した1品種は抵抗性遺伝子型が *+/+, rym3/rym3* と推定された. この結果から, *rym5* とエステラーゼアイソザイム遺伝子の組換え型の出現率は7.14%で, 高い確率で *rym3* と *rym5* の複合抵抗性遺伝子集積品種を選抜できることが確かめられた. この推定法の手順を第9図に示した. 本法は, エステラーゼアイソザイムの代わりに *rym5* に関連した DNA マーカー

(Bettina ら 2005) に当てはめることも可能で, 現在, 著者らは DNA マーカーによる MAS (Marker-assisted selection) (長嶺ら 2007) の一環として, 本手法を育種事業に導入している.

3. *rym3* と *rym5* の出現頻度の歪み

F₅ および F₆ 系統におけるエステラーゼアイソザイム遺伝子型の分離および抵抗性遺伝子型の出現度数と頻度を第14, 15 および 16 表に示した. ここで, 本材料では1組合せ当たりの品種数が少なく期待度数が小さくなっているために, 全ての組合せを込みにして適合性を検討した. すると, エステラーゼアイソザイム, 抵抗性遺伝子とも出現頻度が有意に歪み, *Pr-Fr-Su/Pr-Fr-Su* (Prior型) と *rym3* の頻度が有意に低くなった. エステラーゼアイソザイム遺伝子型で *Ca-null-Nz/Ca-null-Nz* (木石港型) : *Ca-null-Nz/Pr-Fr-Su* (ヘテロ型) : *Pr-Fr-Su/Pr-Fr-Su* (Prior型) の出現頻度は, F₅ 系統では理論値の 0.65 : 0.08 : 0.27 に対して 0.72 : 0.06 : 0.22, F₆ 系統では 0.67 : 0.04 : 0.29 に対して 0.74 : 0.09 : 0.16 と *Pr-Fr-Su/Pr-Fr-Su* (Prior型) の出現頻度が理論値に比べて有意に低く, *Ca-null-Nz/Ca-null-Nz* (木

第 18 表 イシユクシラズ/ニシノチカラ SSD F₈ 系統の大麦縞萎縮ウイルス I 型および III 型圃場における抵抗性反応.

		大麦縞萎縮ウイルス I 型に対する反応			理論値 (出現頻度)
		RR	S	計	
大麦縞萎縮ウイルス III 型に対する反応	RR	109	0	109 (0.49)	109 (0.49)
	S	51	61	112 (0.51)	112 (0.51)
	計	160 (0.72)	61 (0.28)	221	
	理論値 (出現頻度)	164 (0.74)	57 (0.26)	221	

大麦縞萎縮病抵抗性遺伝子型は、イシユクシラズ (+/+*rym3*,*rym3*), ニシノチカラ(*rym5*/*rym5*, +/+).

完全な抵抗性以外は S としてカウントした.

χ^2 (大麦縞萎縮ウイルス I 型)=0.38 (0.75>P>0.5), χ^2 (同 III 型)=0.00 (1>P>0.95).

石港型)の頻度が有意に高かった. 同様に, 抵抗性遺伝子型で *rym5*/*rym5*,*rym3*/*rym3* : *rym5*/*rym5*, +/+ : *rym5*/*rym5*,*rym3*/+ : *rym5*/+,*rym3*/*rym3* : +/+,*rym3*/*rym3*の出現頻度は, F₅ 系統では 0.31 : 0.35 : 0.08 : 0.27 に対して 0.28 : 0.47 : 0.05 : 0.20, F₆ 系統では 0.35 : 0.33 : 0.04 : 0.29 に対して 0.20 : 0.56 : 0.08 : 0.16 と理論値に適合せず *rym5* の出現頻度が有意に高く, *rym3* の頻度が有意に低く歪んだ. また, F₅ と F₆ 系統を比較した場合, 農業形質選抜を繰り返した F₆ 系統で歪みが大きくなった.

ここで, 通常の育種ルーチンとは別にイシユクシラズ/ニシノチカラの SSD F₈ 系統での大麦縞萎縮ウイルスに対する反応の調査結果を第 18 表に示した. SSD 法により養成された本材料では, I 型および III 型に対する反応は理論値に適合し, *rym5* および *rym3* の分離比に歪みが生じないものと思われた. このことから, エステラーゼアイソザイムおよび大麦縞萎縮病抵抗性遺伝子で確認された歪みは分離比の歪みによるものではなく, これらの遺伝子と連鎖した雑種集団養成過程における集団構成の上で生じる歪み (例えば, 穂数や 1 穂粒数の多少等) によるものか, 供試材料は集団養成中 F₂, F₃ の収穫に際しては成熟の早い系統を中心に穂選抜をしていることや, 出穂期・草型・穂数・穂型・倒伏程度等農業形質ついて F₄ 穂別系統では平均 4.9% (1.4~9.0%), F₅ 系統では同 17.2% (5.0~34.9%) の選抜率で選抜していることから, 農業形質での選抜により歪みが生じたと推察された.

小西・松浦 (1987) は, エステラーゼアイソザイム遺

伝子ブロックの周辺に育種上重要な遺伝子があり, 農業形質の選抜に伴ってエステラーゼアイソザイム遺伝子頻度が歪むことを示唆しているが, 本試験に供試した交配組合せで *rym5* 近傍に優良な遺伝子が存在しているのか, あるいは *rym3* 近傍に劣悪な遺伝子が存在しているのかは不明で, 今後これらの歪みの原因を明らかにすることが育種上重要と思われる.

以上のことから, *rym5* を持つ品種と *rym3* を持つ品種の交雑後代において, *rym3* の出現頻度が減少することが判明したが, 育種上有用な大麦縞萎縮病抵抗性遺伝子 *rym3* を持った品種育成の効率化や, 山口新型系統をはじめ新しい大麦縞萎縮ウイルス系統に対応すべく *rym3* と *rym5* との集積品種の育成には, 農業選抜を行う以前の世代に *rym3* を対象とした選抜を加える必要があると考えられた.

4. 大麦縞萎縮ウイルス III 型抵抗性ビールオオムギ品種育成母材への適用

本章に記した選抜法や集積法は, オオムギの抵抗性育種において, 大麦縞萎縮病抵抗性遺伝子 *rym5* を持つ品種とエステラーゼアイソザイム遺伝子型の異なる同 III 型抵抗性遺伝子 *rym3* を持つ品種との交雑後代で適用できる. しかし, *rym3* を持つ品種のエステラーゼアイソザイム遺伝子型が *rym5* を持つ品種と同じ場合は適用することができない.

また, *rym3* 以外の抵抗性遺伝子を持つ品種 (第 12 表) でも *rym5* を持つ品種とエステラーゼアイソザイム遺伝子型が異なっていれば, 同様に適用できると考えられ,

御掘裸 3 号およびその後代の持つ抵抗性遺伝子 *Rym2*, *Sonate*, *Diana* 等の持つ *rym4* においても *rym5* との交雑後代品種での遺伝子の推定および集積に利用できると考えられ、さらに、新たな抵抗性遺伝子による *rym3* と *rym5* 以外の集積パターンや準同質抵抗性遺伝子系統の作出 (河田・五月女 1998) にも適用できる。

第 2 節 大麦縞萎縮病抵抗性遺伝子集積品種スカイゴールデンの育成

今まで I~V 型に抵抗性となる *rym3* と *rym5* をあるいは *rym1* と *rym5* を集積したビールオオムギ品種は育成されていなかった。また、育種過程において *rym3* を持つ系統と *rym5* を持つ系統との交雑後代において、*rym3* の出現頻度が低くなることが判明した。そこで、エステラーゼアイソザイムを利用した大麦縞萎縮病抵抗性遺伝子の集積法を用いて *rym3* を持つ系統と *rym5* を持つ系統との交雑後代系統から *rym3* と *rym5* を集積かつ農業特性および醸造用品質が優れる系統を選抜し、優良ビールオオムギ品種の育成を試みた。

材料と方法

1. 育成経過

供試材料は、第 12 表に表した。交配後、 F_1 を 7 月に栃木分場内のガラス冷房室に各組合せ 80 粒を栽植し、10 月に種子を採種した。11 月に同 F_2 種子 70~80g (約 2000 粒) を鹿児島県の現地圃場に栽植し集団を養成し、翌年 4 月に晩生や長稈を除いて同 400~500 穂を収穫し、それぞれを混合脱穀した。5 月に北海道の現地圃場に同 F_3 種子 180~200g (約 4000 粒~5000 粒) 栽植して集団養成を行い、8 月に同 700~1050 穂を選抜・収穫した。以上 1 年間に 3 作する事により育種年限の短縮を図った。 F_4 以降の供試系統数および選抜数を第 19 表および 20 表に示した。 F_4 は、I 型圃場に各組合せ 700~1050 穂、合計 14893 系統 (1990 年交配)、10600 系統 (1991 年交配) を穂別系統として供試し、3 月~4 月に大麦縞萎縮病およびうどんこ病の抵抗性遺伝子 (うどんこ病抵抗性遺伝子を持たない関東二条 26 号の組合せを除く) をホモに持つ個体を選び、さらに出穂期、稈長、草型、固定度等を選抜指標として立毛の優れる系統をそれぞれ合計 751, 646 系統選抜した (選抜率は 5.0, 4.9%)。 F_5 は単独系統 (派生系統 2 年目) として、1 系統当たり約 80 個体を播種し、第 1 節の抵抗性遺伝子判別法を用いて抵抗性遺伝子の同定を行い、その後立毛調査、個体調査、品質等の優れるそれぞれ合計 127 系統、93 系統を選抜した (選抜率は 16.9, 14.4%)。これらの系統のうち *rym3* と *rym5*

を集積した系統はそれぞれ 26, 22 系統 (同 3.5, 3.4%) で、選抜系統は小規模製麦・醸造用品質分析法 (栃木県農業試験場栃木分場 1998) にてビール醸造用品質を分析した。 F_6 は、生産力検定試験に供試し、1990 年交配材料では収量性、外観品質、醸造用品質の優れた 2 系統を選抜したが、1991 年交配材料では優れる系統が無く選抜することはできなかった。選抜した 2 系統うち、大系 R4094 (組合せ: 関東二条 26 号/栃系 216) はミサトゴールデン並の早生であまぎ二条、ミカモゴールデンよりも多収で、醸造用品質が優れていたため、栃系 253 の系統名を付し、次年度 (1995 年産) からビール大麦合同比較試験、系統適応性検定試験に供試した。大系 R4034 (組合せ: 関東二条 25 号/栃系 216) はうどんこ病に抵抗性で、整粒歩合が多く、麦芽エキスが多く、ジアスターゼ力が高く、麦芽の評点が高く優れていたことから、生産力検定試験を 2 年実施後、栃系 258 の系統名を付し、1996 年産からビール大麦合同比較試験、系統適応性検定試験に供試した。栃系 253 は、2 年間 (1995~1996 年産) の調査結果、I, III 型に抵抗性で、あまぎ二条に優る収量性とビール醸造用品質を持っていることが確認されたが、うどんこ病に罹病性であることから、*rym3* と *rym5* を集積した育種母本とした。栃系 258 は、生産力検定試験、ビール大麦合同比較試験、系統適応性検定試験、特性検定試験の結果が良好であったことから、1998 年産から関東二条 32 号の系統名を付し、各県における奨励品種決定調査材料としても配付した。その後、栃木県において 3 年間の奨励品種決定調査を行った結果、関東二条 32 号の優秀性が認められ、2000 年度に栃木県の認定品種に採用された。2001 年 2 月 (2000 年度) にはスカイゴールデンと命名され、また平成 15 年 11 月に二条大麦農林 20 号として品種登録された。

2. 特性調査

スカイゴールデンの主な特性を大麦種苗特性分類調査基準 ((社) 農林水産技術情報協会 1980) に基づき、登録品種のあまぎ二条およびミカモゴールデンを比較・参考として、調査した。各項目の分級にあたっては、生産力検定試験の結果に基づき判定した。

3. 遺伝子集積の確認

1995 年 4 月に、栃系 253 およびスカイゴールデンと *rym3* を持つ関東二条 29 号および *rym5* を持つ九州二条 11 号 (後のミハルゴールド) との交配を行い、1996 年 11 月にそれぞれの F_1 , F_2 , F_4 (穂別) 後代を栃木分場内大麦縞萎縮病 I 型圃場に播種し、翌年 3 月に対立性検定を行った。

第 19 表 *rym3* と *rym5* の集積品種育成における F₄以降の供試数と選抜数 (1991 年交配).

組合	1993 年 1994 年		1995 年 F ₆ 生産力検定試験				備考
	F ₄ 穂別	F ₅ 単独	供試	系統名 (大系)	うち <i>rym5+rym3</i>	選抜	
1	700	38	11	R4259-4269	3	0	
2	700	23	1	R4270	0	0	
3	700	26	3	R4271-4273	0	0	
4	700	30	4	R4274-4277	0	0	
5	700	52	7	R4278-4284	2	0	
6	700	25	0				
7	700	55	13	R4231-4243	2	0	
8	700	45	4	R4244-4247	3	0	
9	700	22	0		0	0	
10	700	33	2	R4248-4249	0	0	
11	700	55	6	R4250-4255	2	0	
12	700	27	0				
13	700	40	11	R4312-4322	4	0	
14	700	63	14	R4287-4300	3	0	
15	700	38	8	R4301-4308	1	0	
16	700	10	3	R4309-4311	1	0	
17	700	26	6	R4323-4328	1	0	
18	700	23	0				
19	700	15	0				
計	13300	646	93		22	0	
(選抜率)		4.9%	14.4%		3.4%	0.0%	0.0% (F6/F4)

第 20 表 *rym3* と *rym5* の集積品種育成における F₄以降の供試数と選抜数 (1990 年交配).

組合	1992 年 1993 年		1994 年 F ₆ 生産力検定試験				備考 (系統名, 品種名)
	F ₄ 穂別	F ₅ 単独	供試	系統名 (大系)	うち <i>rym5+rym3</i>	選抜	
20	1050	43	13	R4075-4087	3	0	
21	700	54	4	R4149-4153	0	0	
22	700	43	15	R4194-4197	1	0	
23	1050	60	3	R4131-4145	1	0	
24	1050	48	5	R4146-4148	0	0	
25	700	62	12	R4185-4193	2	0	
26	1050	23	6	R4166-4177	3	0	
27	1050	43	9	R4178-4184	1	0	
28	1027	57	8	R4062-4069	2	0	
29	1050	49	13	R4022-4034	6	1	栃系 258, 関東二条 32 号, スカイゴールデン
30	1050	54	15	R4035-4049	1	0	
31	916	101	12	R4050-4061	2	0	
32	1050	37	4	R4102-4106	1	0	
33	700	21	2	R4094-4095	1	1	栃系 253
34	700	21	2	R4096-4097	1	0	
35	1050	35	4	R4098-4101	1	0	
計	14893	751	127		26	2	
(選抜率)		5.0%	16.9%		3.5%	1.57%	0.013% (F6/F4)

結果と考察

1. スカイゴールデンの特性概要

スカイゴールデンの主な特性を第 21, 22, 23 表に示

した。

あまぎ二条と比較して, 農業特性は, 出穂期, 成熟期は早生 (やや早生), 稈長は同程度で, 穂長はやや短い。耐

第 21 表 スカイゴールデンの主な特性.

品種名	出穂期	稈長	穂長	収量性	千粒重	外観品質	耐倒伏性	縞萎縮病		うどんこ病	麦芽エキス	コールパッハ数	ジアスターゼ力
								I 型	III 型				
スカイゴールデン	やや早	中	短	やや多	やや大	中の中	強	抵抗性	抵抗性	極強	多	極大	大
あまぎ二条	中	中	中	やや多	中	中の中	やや弱	罹病性	罹病性	中	中	大	やや大
ミカモゴールデン	早	中	短	中	中	中の中	中	抵抗性	罹病性	弱	多	大	大
関東二条 25 号	早	中	短	やや多	—	中の中	やや強	抵抗性	罹病性	極強	多	大	大
栃系 216	早	短	短	中	—	中の中	強	抵抗性	抵抗性	中	多	大	大

特性の項目および評価は、「大麦種苗特性分類調査報告書」(社)農林水産技術情報協会 1980) に基づく。

第 22 表 スカイゴールデンの生産力検定試験調査結果 (農業特性).

品種名	成熟期 月/日	稈長 cm	穂長 cm	倒伏	うどんこ病 罹病程度	子実重 kg/a	同左 標比 %	整粒重 kg/a	同左 標比 %	千粒重 g	整粒 歩合 %
スカイゴールデン	5/31 a	84	6.1 ab	0.4	0.0	43.0	108	40.4 a	111	42.8 a	94.0 a
あまぎ二条	6/2 b	79	6.5 a	0.1	0.8	40.6	100	36.8 ab	100	39.9 b	90.3 ab
ミカモゴールデン	5/31 a	81	5.7 b	0.3	1.5	39.1	97	34.1 b	93	38.9 b	87.2 b

栃木分場における生産力検定試験標準栽培 (水田跡) 調査結果 (1994~96 年産) .

あまぎ二条を標準とした.

うどんこ病の罹病程度 : 0 (無) ~ 3 (中) ~ 5 (甚) .

同一アルファベットの記述のある品種間には Tukey の多重比較 (P<0.05) で有意差がないことを示す.

第 23 表 スカイゴールデンの生産力検定試験調査結果 (醸造品質).

品種名	粗蛋白質 含量 %	エキス %	麦芽 全窒素 %	可溶性 窒素 %	コールパ ッハ数 %	ジアスタ ーゼ力 WK/TN	エキス 収量 %	最終 発酵度 %	評点	標準差
スカイゴールデン	10.5 ab	84.9 a	1.65 ab	0.84 a	50.9 b	239 a	78.2 a	88.7 a	82.8 a	22.8
あまぎ二条	9.6 b	82.3 c	1.54 a	0.71 b	47.2 ab	192 b	75.7 b	86.5 b	59.6 b	0.0
ミカモゴールデン	10.6 a	83.5 b	1.70 b	0.76 ab	45.2 a	214 ab	76.0 b	86.7 b	66.4 b	6.3

栃木分場における生産力検定試験標準栽培 (水田跡) 調査結果 (1994~96 年産) .

あまぎ二条を標準とした.

調査は栃木県農業試験場栃木分場 (1998) に従った.

同一アルファベットの記述のある品種間には Tukey の多重比較 (P<0.05) で有意差がないことを示す.

倒伏性は強く, 子実重で 8%, 整粒重で 11% 多収である. 千粒重は 1.9g 重く, 整粒歩合が高く, ミカモゴールデンに優る. 外観品質は, 同程度で優れる. 大麦縞萎縮病は I 型, III 型共に抵抗性で, うどんこ病には抵抗性で“極強”である. 醸造用品質は, エキスはあまぎ二条に比べて 2.6% 高く, エキス含量の高いミカモゴールデンよりも高い. 可溶性窒素は高く, タンパク質の溶けの指標であるコールパッハ数 (可溶性窒素/麦芽全窒素×100) はミカモゴールデンよりも高くタンパクが溶け易い. ジア

スターゼ力, エキス収量, 最終発酵度は高く, 麦芽評点も高く, 総じてビール醸造用品質は極めて優れていることが明らかとなった.

ただし, スカイゴールデンは, 粗タンパク質含量が高くなりやすい特性 (第 23 表) から, 高タンパクにならないように栽培に留意しなければならない.

2. 遺伝子集積の確認

rym3 を持つ関東二条 29 号ならびに *rym5* を持つミハルゴールドとの対立性検定の結果を第 24 表に示した.

第 24 表 栃系 253 およびスカイゴールデンの大麦縞萎縮病抵抗性遺伝子対立性検定結果.

交配番号	組 合 せ		世代	大麦縞萎縮病 (I 型)		計
				抵抗性	罹病性	
菓交 2583	栃系 253	/ 関東二条 29 号	F ₁	5	0	5
			F ₂	50	0	50
			F ₄ *	893	0	893
菓交 2584	栃系 253	/ 九州二条 11 号 (ミハルゴールド)	F ₁	5	0	5
			F ₂	50	0	50
			F ₄ *	910	0	910
菓交 2598	スカイゴールデン (大系 R4034)	/ 関東二条 29 号	F ₁	5	0	5
			F ₂	50	0	50
			F ₄ *	537	0	537
菓交 2601	スカイゴールデン (大系 R4034)	/ 九州二条 11 号 (ミハルゴールド)	F ₁	5	0	5
			F ₂	50	0	50
			F ₄ *	703	0	703

*: F₄ 穂別系統のため, 表現形は F₃.

大麦縞萎縮病抵抗性遺伝子: 関東二条 29 号は *rym3*, ミハルゴールドは *rym5*.

それぞれの組合せの F₁, F₂, F₄ (穂別系統のため表現形は F₃) 系統において大麦縞萎縮病による罹病個体は出現しなかったことから, 栃系 253 およびスカイゴールデンともに *rym3* と *rym5* との両方を持つことが確認できた. 以上, *rym3* を持つ品種と *rym5* を持つ品種との 32 組合せから, *rym3* と *rym5* を集積した栃系 253 とスカイゴールデンを育成した. 栃系 253 は *rym3* と *rym5* とを集積した最初のオオムギ系統として多収, 高品質の母本と利用され, 世界初の極低ポリフェノール食用オオムギとちのいぶき (渡邊ら 2008) や β -グルカン欠失ビールオオムギ中間母本大系 HV37 (五月女ら 2010) の実用品種の戻し交配親として活用された. スカイゴールデンは, 系統分化が認められた大麦縞萎縮ウイルスの全ての系統に抵抗性で優れた醸造用品質を持つ有望品種として, 普及が開始された. スカイゴールデンの母親の関東二条 25 号は, 栃木分場で初めて大麦縞萎縮病とうどんこ病に抵抗性を持ちビール醸造用品質の優れる系統 (吉田 1988) で, また栃系 216 は同様に *rym3* を持った系統 (栃木県農業試験場栃木分場 2006) である. 「III 型抵抗性・うどんこ病抵抗性ビール大麦」の育種目標のもとに育種が 1989 年から開始され, 1990 年に本組合せの交配が行われ 2000 年にスカイゴールデンの育成できたことは, エステラーゼアイソザイムを利用した大麦縞萎縮病抵抗性遺伝子の集積法の効果によるものだけでなく, 適切な育種計画のもとで交配母本の選定, 交配の組合せが行われ

たことや, 世代促進技術や中期世代からの醸造用品質の検定・選抜の導入等を用いて育種年限の短縮や効率化に努めたことによると思われる. 今後, スカイゴールデンはビールオオムギの安定多収高品質生産に寄与するものと考えられるが, スカイゴールデンならびにスカイゴールデンの育種手法はビールオオムギ育種の発展に貢献するものと推察される. また, スカイゴールデンは登録された大麦品種のなかで, 唯一, 全ての大麦縞萎縮病に抵抗性を示す品種であり, 抵抗性育種母本として大麦育種の発展に寄与するものと考えられる.

なお, スカイゴールデンはこれまでの「ビール大麦品種比較試験用品質評価基準」(増田ら 1993) に基づき, 可溶性窒素およびコールパツハ数も高い (タンパク質の溶けが良い) 方がビール醸造用品質が優れるという目標に従って, 育種が進められてきた. しかし, スカイゴールデンの溶けの良さは品質評価基準が制定された時に想定されていた範囲を超えていたことから (関和ら 2001), 今後の品種育成の課題として, タンパク質の溶けをある程度までに抑え, デンプンと細胞壁多糖の溶けを良くした品種の開発が必要と考えられる.

まとめ

抵抗性品種を育成する上で, 大麦縞萎縮ウイルス系統毎の検定圃場が利用できれば選抜効率は高まるが, 土壤伝染性ウイルス病では単一系統の汚染圃場の確保と維持

は困難であり、国内に多く存在している I 型圃場では *rym5* および *rym3* の両方が抵抗性反応を示すため *rym3* を持った品種を効率的に選抜することは難しい。そこで、大麦縞萎縮病抵抗性遺伝子 *rym3* と *rym5* との集積品種育成を目標に、*rym3* と *rym5* を持つ品種との交雑後代において、エステラーゼアイソザイム遺伝子 *Est1-Est2-Est4* の遺伝子型と大麦縞萎縮病汚染圃場を用いることにより *rym3* と *rym5* とを集積した品種の選抜法を開発した。その誤選抜率は約 4.9% で、新品種育種上有効と考えられた。本手法を用いて *rym5* と *rym3* とを集積したスカイゴールデンを育成した。スカイゴールデンは、大麦縞萎縮病抵抗性に加えて、多収で整粒歩合が高く、うどんこ病にも抵抗性で、優れた醸造用品質を有し、ビールオオムギの安定多収高品質生産に寄与できるものと考えられた。なお、*rym3* と *rym5* を持つ品種との交雑後代において農業形質で選抜を行うことにより *rym3* の出現頻度が有意に低く歪むことを明らかにした。

第 5 章 栃木県における高品質安定生産を目指したビールオオムギの普及

ビールオオムギは、ビールや発泡酒の主原料として契約栽培にて生産が行われている。そのため、安定した収量と優れた品質が要求されている。生産にあたっては、安定した収量の確保のために、大麦縞萎縮病などによる被害を回避することはもちろん、品種の特性を發揮した栽培を行う必要がある。また、新品種の導入にあたっては、生産現場の現状に対応した効率的な普及に努めることが望ましく、そのためには生産現場の現状の把握はもちろん、課題に対応した指導や新品種の特性を活かす栽培法などにより高品質安定生産が実現するものと考えられる。

そこで、高品質安定生産を目指したビールオオムギ品種の普及に関して、研究を進めた。

第 1 節 栃木県内の大麦縞萎縮病の発生状況に対応した品種の選定

大麦縞萎縮病の発生状況と現在普及しているビールオオムギ品種の特性から安定生産を目指した品種の選定を考察した。また、栃木県において県南しもつけ地区に次いで作付面積の多い県北地域的那須地方において、大麦縞萎縮病の発生状況を調査し、その結果に基づきビールオオムギの安定生産を目指し、抵抗性品種の普及を試みた。

材料と方法

1. 栃木県における大麦縞萎縮病の発生状況に対応した品種の選定

発生状況は、第 3 章の 1997 年～2001 年および 2005、2006 年の結果を用いた。なお、2005 年における栃木県の各地方の品種別ビールオオムギ栽培面積は栃木県麦作推進資料（平成 17 年産）（栃木県農務部 2004）より引用した。

2. 那須地方における大麦縞萎縮病の発生状況と抵抗性品種の普及

調査は、2005 年 3 月 28 日～4 月 27 日に、那須地方でビールオオムギの作付けの少ない那須町を除いた大田原市、那須塩原市を集荷単位である大田原市大田原地区（以下、大田原）、那須塩原市塩那地区（同、塩那）、大田原市湯津上地区（同、湯津上）、大田原市黒羽地区（同、黒羽）、那須塩原市黒磯地区（同、黒磯）（以上作付面積順）に分けて、圃場 1 筆ごとに大麦縞萎縮病の発生を判断し、面積を加算し、発生率を計算した後、調査地区全体の作付面積に発生率を乗じて、発生面積とした。発生の判断は、明らかに黄化している圃場は‘発生’（罹病圃場）、黄化が認められない場合には圃場に入り、大麦縞萎縮病によるモザイク症状の発生が確認された場合には同様に‘発生’、モザイク症状が確認できなかった場合には、スカイゴールデンは全てのオオムギオオムギ縞萎縮ウイルス系統に抵抗性であるため（五月女ら 2010）発生の確認ができないことから、スカイゴールデンの特徴である葉耳、節および葉鞘のアントシアンの着色の有無を確認し、着色がない場合には‘スカイゴールデン’、着色が認められたときには‘発生無し’とした。発生とした圃場は、発病面積や発病状況により多（圃場の 3/4 以上の面積で大麦縞萎縮病による黄化、萎縮、穂数の減少等が発生）と少（その他）に分けた。

結果と考察

1. 栃木県における大麦縞萎縮病の発生状況に対応した品種の選定

2005 年産における栃木県内の作付面積を第 25 表に示した。県内の 51.1%、4968ha が栽培されている県南地域では、III 型が常発化していたが、I および III 型に抵抗性を持たない、あまぎ二条 5.1%、III 型に罹病性のミカモゴールデンおよび、みょうぎ二条はそれぞれ 62.9%、11.0% で、III 型に罹病性の品種は併せて 79.1% が作付けられていた。次に、県内の 32.0%、3116ha が栽培されている県北地域では、I 型と IV 型が発生していたが、あまぎ二条が 17.1%、I 型に罹病性のなす二条が 70.9%

第 25 表 栃木県の各地域におけるビールオオムギ品種の作付面積（上段：作付面積（ha），下段：作付面積率（%））。

	あまぎ二条	ミカモゴールド	なす二条	みょうぎ二条	スカイゴールデン	計
県北	534	164	2208	0	210	3116
	17.1	5.3	70.9	0.0	6.7	32.0
県中	0	1461	0	0	183	1644
	0.0	88.9	0.0	0.0	11.1	16.9
県南	251	3127	50	550	990	4968
	5.1	62.9	1.0	11.1	19.9	51.1
計	785	4752	2258	550	1383	9728
	8.1	48.8	23.2	5.7	14.2	100.0

栃木県農務部調べ。 2005 年産。

作付けされており、合計 88.0%が罹病性の品種であった。I型が発生し宇都宮市や真岡市でIII型の発生が確認されている県中地域では、III型に抵抗性を持たないミカモゴールドが 88.9%栽培されていた。

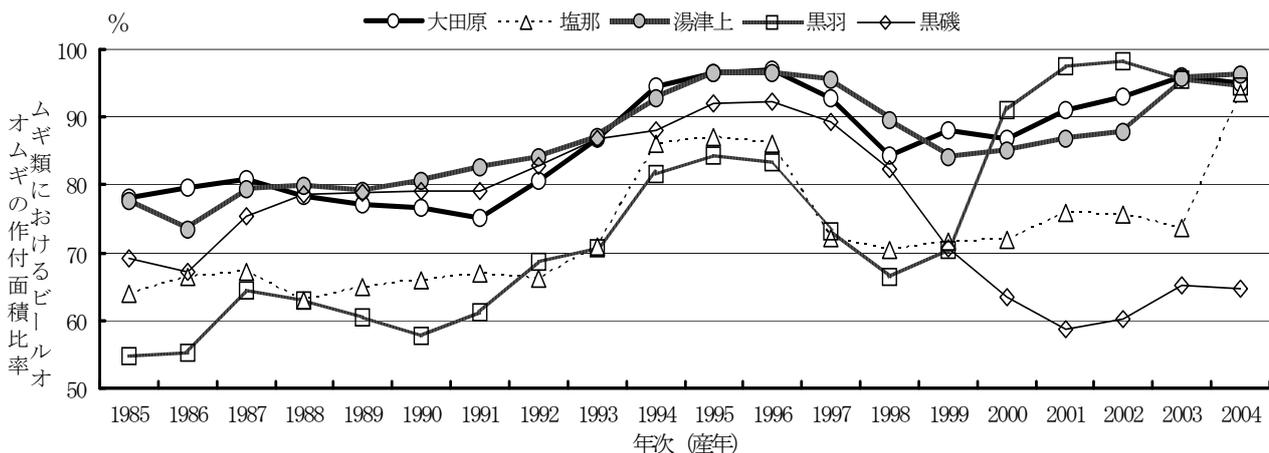
以上の結果から、栃木県の各地域で罹病性品種が約 8～9割栽培されており、大麦縞萎縮病の発生が拡大、激化すれば、安定した品質や収量は望めないものと推察された。それぞれの地域別にみると、県南地区ではミカモゴールド等抵抗性遺伝子 *rym5* を持った品種では大麦縞萎縮病の常発化により安定生産が望めず、III型に対して、なす二条は抵抗性であるが I型に罹病性で、もともと発生していたウイルス系統は I型であり（柏崎 1990）、抵抗性品種やコムギを数年作付けしても数年後には再び発生することから（小川ら 1995）、なす二条の導入は現実的ではなく、県南地区では III型に抵抗性となる *rym3* を持つスカイゴールデン、あるいは 2009 年産より普及が始まったサチホゴールデン（栃木県農政部 2009）の作

付けが望ましい。県北地域では、なす二条が 1991 年産より奨励されてきたが、I型の拡大と IV型の発生により、安定生産が懸念される。I型および IVに抵抗性となる *rym5* を持つミカモゴールドは、1990 年産以降数年にわたり展示圃を設置し調査してきたが、県北地域、特に那須地方においては整粒歩合の低下や低収、倒伏の多発等適応性に問題があり、わずかの普及に止まっていた。みょうぎ二条は同じく *rym5* を持つが、なす二条やあまぎ二条よりも出穂期が早いいため、晩霜による凍霜害の危険性や買入れる実需者の嗜好性等により普及するに至らなかった。従って、*rym5* を持つ品種はスカイゴールデンだけであり、スカイゴールデンの普及が望ましい。県中地域においては、I型に加えて宇都宮市で III型の発生が確認されていることから（第 5 図）、県南地区と同様に *rym3* を持つ品種のスカイゴールデン、あるいはサチホゴールデンの普及が望ましいと考えられた。

第 26 表 那須地方における大麦縞萎縮病の発生状況調査結果。

地区	調査圃場数 筆	作付面積 (A) ha	罹病性品種		大麦縞萎縮病発生面積			うち多発生		
			(B) ha	(B/A) %	(C) ha	(C/A) %	(C/B) %	(D) ha	(D/B) %	(D/C) %
大田原	2546	1095	985	90.0	799	73.0	81.1	504	51.2	63.1
塩那	1010	253	253	100.0	130	51.4	51.4	80	31.6	61.5
湯津上	900	203	143	70.4	120	59.1	83.9	80	55.9	66.7
黒羽	690	164	164	100.0	52	31.7	31.7	35	21.3	70.0
黒磯	205	80	60	75.0	30	37.5	50.0	15	25.0	50.0
計	5351	1795	1605	89.4	1131	63.0	70.5	714	44.5	63.1

2005 年産。那須地区はビールオオムギの作付けが少ないため、調査から除いた。



第10図 那須地方各地区のムギ類におけるビールオオムギ作付面積率の推移。

栃木県農務部 麦の生産振興方針, 麦作推進資料 (1986~2005)から抜粋。

2. 那須地方における大麦縞萎縮病の発生状況と抵抗性品種の普及

調査結果を第26表に示した。作付面積1795haに対し、罹病性品種の面積は1605haで89.4%を占めていた。このうち、大麦縞萎縮病は約1131haで発生し、発生率は63.0%、抵抗性品種のスカイゴールデンを除くと70.5%で発病が確認された。地区別にみると大田原73.0%、塩那51.4%、湯津上59.1%、黒羽31.7%、黒磯37.5%で、大田原と湯津上はスカイゴールデンを除くと発生率が8割を超えて高く、塩那、黒磯でも5割を超えていた。これらの発生面積のうち、多発生は約714ha、発生率は全地区で63.1%、各地区とも5割を超え、発病の激化が進んでいた。各地区における過去20年間のムギ類に占めるビールオオムギの作付面積比率を第10図に示した。那須地方は関東平野の以北に位置し、那須山系あるいは八溝山系の裾野に広がる標高120~400mの水田あるいは開墾田にムギ類が作付けされている。コムギは梅雨の最中に収穫期となり品質低下が甚だしいことから過去20年間に作付面積の割合が26.0%から1.8%に著しく減少し、秋播のビールオオムギは北限にあたるもののビールオオムギが早生性と収益性から基幹作物として作付けされてきた。1997年産の買入価格の値下げや1998年産以降の契約買入数量削減により六条オオムギが栽培されたが、栃木県産六条オオムギの硬質粒混入等による品質低下が問題となったことから、一部地域を除き2004年産以降はビールオオムギに特化した麦作りが推進されている(栃木県農務部2004)。このような状況の中、以前からビールオオムギの比率が高かった大田原および湯津上では大麦縞萎縮病の発生率が高まったものと推察され、他の地区においても今後大麦縞萎縮病の一層の拡大、激化が進むと推察される。今回の調査結果が

ら、那須地方の7割で大麦縞萎縮病が発生していることが明らかとなったが、ビールオオムギの安定生産のためには、早急に抵抗性品種スカイゴールデンの普及が必要と考えられた。

第2節 ビールオオムギ生産における課題と高品質安定生産のための栽培技術の確立

スカイゴールデンは、大麦縞萎縮病による収量および品質の低下は回避できると考えられるが、粗タンパク質含量が高くなりやすい欠点があった(第23表, 谷口ら2001)。現在、粗タンパク質含量はビールオオムギ品質で最重要項目であり、2001年産からは従来の適正値9.5~11.5%から10.0~11.0%と幅が狭められ、2003年には買入条件の受入品質基準の粗タンパク質含量は9.0~12.0%とされている(栃木県農務部2003)。このような状況を受けて栃木県では、2005年産以降のスカイゴールデンにおいて12.0%を超える粗タンパク質含量の高いものの等受入基準外(12.1%超または8.9%以下)の生産を減少させるために、連続して(過去4年のうち3回)受入基準外となった麦の生産者は、以後ビールオオムギの栽培ができないと決められた。

そこで、以前から粗タンパク質含量の高いビールオオムギ生産者の割合が多い那須地方において、ビールオオムギ生産現場における栽培技術の実態と課題を把握することで、スカイゴールデンの普及を前提とした高品質安定生産技術の確立を目指した。

材料と方法

1. 生産現場における栽培技術の実態と課題

肥培管理・収量・タンパクデータ等生産者履歴の確認することが可能な塩那地区(2004年産)126名および湯

津上地区 (2005 年産) 109 名について、播種期、収穫期、土づくり (堆肥, pH 改良資材 (資材名: 苦土炭カル), リン酸改良資材 (同: 熔燐)), 麦踏 (総回数および茎立期前の麦踏の有無) 等主な肥培管理および湿害の有無 (発生の有無は生産者の達観により '有り' あるいは '無し') とし、調査は塩那地区のみで実施) と、粗タンパク質含量, 子実重, 整粒重, 整粒歩合との関係を調査した。子実重は、生産者が共同乾燥調製施設 (カントリーエレベーター・ライスセンター) に搬入した未調製品の重量を水分 12.0% 時の重量に補正し、耕作者台帳に申請した栽培面積で除して子実重とした。また、搬入時に約 500g を調査用としてサンプリングし、約 12% に乾燥させた後、2.5mm の縦目篩にてふるい分けし、整粒歩合を算出すると共に、整粒について近赤外分光分析装置 Foss 社 Infratec 1241 にて粗タンパク質含量 (無水) を測定した。

2. 土づくり肥料施用による粗タンパク質含量の低減適正化効果および経営改善効果

試験は、2006 年に大田原市実取 (以下、大田原 I) の水田 (多湿黒ボク土) および大田原市大輪 (以下、大田原 II) の水田 (森林褐色土) で実施した。供試品種はスカイゴールドを用い、播種は大田原 I, II それぞれ 10 月 30 日, 11 月 5 日, 播種量は 8kg/10a, 播種法は 20cm ドリル播, 施肥量は 7.2 kg/10a (うち緩効性 LP40 1.44kg/10a), リン酸 10.8kg/10a (土づくり肥料分を除く), 加里 9.8kg/10a を全量基肥で施用した。管理は慣行法に準じ、麦踏はそれぞれ 4 回 (12 月下旬, 2 月上旬, 3 月上旬, 3 月中旬), 収穫は 6 月 13 日, 18 日に行った。土づくり肥料の施用の処理を第 27 表に示した。無処理区 (リン酸施用量 10.8kg/10a), 改善区 I は苦土炭カル 100kg/10a および苦土重焼燐 40kg/10a (同 24.8kg/10a), 改善区 II は苦土炭カル 100kg/10a および苦土重焼燐 60kg/10a (同 31.8kg/10a), 慣行推奨区は苦土炭カル 100kg/10a および熔燐 100kg/10a (同 30.8kg/10a), および大田原 I では堆肥 1000kg/10a を施用した。試験は、大田原 I, II とともに 50a の圃場を 4 等分し約 12.5a, 1

区制で実施した。大田原 I では、播種前 (10 月 30 日) と施用後 1 月 31 日に圃場から土壌を採取し、pH メーターにより pH と、全農型土壌分析器 ZA-II を用いて可給態リン酸、同苦土について測定した。生育調査は、11 月 16 日に苗立数, 12 月 15 日, 1 月 31 日, 2 月 28 日, 4 月 4 日に草丈, 茎数, 葉齢, 葉色 (SPAD 値) を (以上大田原 I のみ), 6 月 12 日に稈長, 穂長, 穂数, 1 穂粒数を調査した。収穫はそれぞれの区を 4 等分した中心部分の 4 畦 1.5m を刈取り, 4 カ所を合わせて調査した。最終的な生育調査および収穫物調査は大田原 I および同 II を反復として分散分析を行い検定した。経営改善効果は、各処理に要した資材費 (苦土炭カル, 苦土重焼燐, 熔燐) および収穫物の乾燥調製に掛かる乾燥調製費を仕上がった製品の販売金額から差し引き, 10a あたりの収支金額として比較を行い算出した。なお、各単価は 2009 年産の実勢価格 (2008 年秋の単価) を用いた。

結果と考察

1. 生産現場における栽培技術の実態と課題

塩那および湯津上における主な肥培管理と粗タンパク質含量, 子実重, 整粒重, 整粒歩合等の平均, 最小値, 最大値, 標準偏差, 変動係数を第 28 表に示した。粗タンパク質含量は塩那では 8.1~13.7% (標準偏差 1.27), 湯津上では 7.5~13.5% (同 1.31), 子実重は 63~615kg/10a (同 104.7), 121~598kg/10a (同 99.7), 整粒歩合は 37.4~93.7% (同 10.87), 60.4~96.0% (同 7.11), 播種期は 10 月 17 日~12 月 2 日 (同 7.48), 10 月 23 日~12 月 16 日 (同 8.77), 収穫日は 5 月 27 日~6 月 15 日 (同 3.48), 6 月 4 日~22 日 (同 3.53) と両地区共にばらつきが大きいことが明らかになった。各肥培管理の実施状況では、栽培指針で定められている 11 月 5 日までの適期播種 (栃木県農務部 2004) の実施率は塩那では 87.0%, 湯津上では 45.5%, 堆肥の施用は塩那 18.7%, リン酸資材 (熔燐) の施用は塩那 62.6%, 湯津上 47.9%, pH 改良資材 (苦土炭カル) の施用は 48.8%, 67.7%, 麦踏 3 回以上は 15.4%, 25.3%, 茎立期前の麦踏は 36.6%, 45.8% であった (第 29 表)。以上の結果から、両地区において、ビールオオムギ栽培における基本技術が十分に実施されていないことが判明した。

第 27 表 土づくり肥料の処理内容.

処理区名	(kg/10a)			備考
	pH 改良資材 苦土炭カル	リン酸改良資材 熔燐	苦土重焼燐 (リン酸施用量)	
改善区 I	100	0	40	(24.8)
改善区 II	100	0	60	(31.8)
無処理区	0	0	0	(10.8)
慣行推奨区	100	100	0	(30.8)

第 28 表 塩那地区および湯津上地区における各調査項目の基本統計量.

地区名		粗タンパク質含量	子実重	整粒重	整粒歩合	播種期	収穫日	堆肥	麦踏	茎立期前の麦踏	湿害の有無
		(%)	(kg/10a)	(kg/10a)	(%)	(月/日)	(月/日)	(kg/10a)	(回)	(回)	(0:無, 1:有)
塩那 (2004 年)	n	117	126	126	126	123	120	123	123	123	122
	平均	10.5	303.9	214.0	70.8	10/31	6/4	317	1.7	0.4	0.5
	最小	8.1	63.4	47.6	37.4	10/17	5/27	0	0.0	0.0	0
	最大	13.7	614.7	409.7	93.7	12/2	6/15	4000	4.0	2.0	1
	標準偏差	1.27	104.73	78.63	10.87	7.48	3.48	739.04	0.97	0.55	0.50
	変動係数	0.12	0.34	0.37	0.15	0.53	0.44	2.33	0.56	1.39	1.09
湯津上 (2005 年)	n	109	108	108	107	102	65	—	102	101	—
	平均	10.6	373.3	315.7	84.4	11/6	6/10	—	1.9	0.5	—
	最小	7.5	121.0	91.7	60.4	10/23	6/4	—	0.0	0.0	—
	最大	13.5	598.3	539.1	96.0	12/16	6/22	—	4.0	1.0	—
	標準偏差	1.31	99.70	88.10	7.11	8.77	3.53	—	1.00	0.50	—
	変動係数	0.12	0.27	0.28	0.08	0.63	0.59	—	0.53	1.08	—

地区名		リン酸改良資材 (kg/10a)	pH 改良資材 (kg/10a)	施用量			前年粗タンパク質含量 (%)
				窒素 (kg/10a)	リン酸 (kg/10a)	加里 (kg/10a)	
塩那 (2004 年)	n	123	123	117	119	117	103
	平均	57	45	7.5	22.1	8.9	11.4
	最小	0	0	1.1	2.1	2.8	8.6
	最大	200	200	12.6	54.4	22.9	14.7
	標準偏差	46.54	50.43	1.91	10.04	3.05	1.25
	変動係数	0.82	1.12	0.26	0.46	0.34	0.11
湯津上 (2005 年)	n	102	102	91	91	91	73
	平均	35	56	5.9	16.3	6.7	10.8
	最小	0	0	0.0	0.0	0.0	8.6
	最大	140	120	13.6	32.2	12.6	14.4
	標準偏差	40.87	40.91	3.12	8.35	3.57	1.25
	変動係数	1.18	0.73	0.53	0.51	0.54	0.12

湿害の有無は、生産者の達観により判定.

リン酸改良資材は、熔燐. pH 改良資材は苦土炭カル.

次に、基本技術の実施状況で、各項目の群ごとの平均値のおよび平均値の差の検定結果を第 29 表、それぞれの項目間における相関係数を第 30 表に示した. 両地区とも粗タンパク質含量は播種期 (0.232, 0.288) や収穫期 (0.380, 0.542) と正の相関が認められ、1 日遅くなるとそれぞれ粗タンパク質含量が 0.42 %, 0.41 % (播種期), 0.14 %, 0.18 % (収穫期) 上昇した (表は省略).

適期播種と遅播との差はそれぞれ-0.8, -0.6%であった. 播種期が遅くなると原麦 (子実) の粗タンパク質含量が高くなることはコムギやビールオオムギでは知られている (Kohn and Storrier 1970, 荻内 2008). 両地区においても同様に収穫期が遅いと粗タンパク質含量が高くなることから、粗タンパク質含量を高くしないためには収穫期が遅くならないように適期播種に努める必要がある.

第 29 表 主な肥培管理によるタンパク含量, 子実重, 整粒重, 整粒歩合と管理による差.

項目	地区名		塩那				
	群分け	人数 (実施率)	群ごとの 平均値	粗タンパ ク質含量 (%)	子実重 (kg/10a)	整粒重 (kg/10a)	整粒 歩合 (%)
播種期	適期	107	10/28	10.3	307	212	69.4
	遅播 (11/6 以降)	16 (87.0 %)	11/15	11.4 -1.1**	287 20	226 -14	79.2 -9.8**
堆肥	施用	23	1696	10.9	326	233	72.2
	無し	100 (18.7 %)	0	10.4 0.5	299 27	210 23	70.3 1.9
りん酸資材 (熔燐)	施用	77	91	10.3	307	214	70.3
	無し	46 (62.6 %)	0	10.7 -0.4	299 8	212 2	71.2 -0.9
pH 改良資材 (苦土炭カル)	施用	60	92	10.6	314	220	70.3
	無し	63 (48.8 %)	0	10.3 2.7	295 18	208 12	71.0 -0.7
窒素施肥量	標準	76	6.4	10.5	302	212	70.8
	多肥 (7.2kg/10a 超)	41 (65.0 %)	9.4	10.2 0.3	312 -10	216 -4	69.2 1.6
麦踏	3 回以上	19	3.4	10.4	314	191	62.2
	2 回以下	104 (15.4 %)	1.5	10.5 0.0	302 11	218 -27	72.2 -10.0
茎立期前の麦踏	有り	45	1.1	10.5	329	224	68.8
	無し	78 (36.6 %)	0	10.4 0.3	290 39*	208 16	71.7 -2.8
湿害	無し	66		10.6	326	230	71.0
	有り	56		10.3 3.2	276 50**	193 38**	70.4 0.5

項目	地区名		湯津上				
	群分け	人数 (実施率)	群ごとの 平均値	粗タンパ ク質含量 (%)	子実重 (kg/10a)	整粒重 (kg/10a)	整粒 歩合 (%)
播種期	適期	45	10/31	10.3	371	298	80.4
	遅播 (11/6 以降)	54 (45.5 %)	11/11	10.9 -0.6**	387 -15	338 -40*	87.4 -7.0***
堆肥	施用	—	—	—	—	—	—
	無し	—	—	—	—	—	—
りん酸資材 (熔燐)	施用	46	77	10.6	388	330	84.8
	無し	50 (47.9 %)	0	10.7 -0.1	365 23	305 25	83.0 1.8
pH 改良資材 (苦土炭カル)	施用	65	82	10.5	387	324	83.6
	無し	31 (67.7 %)	0	11.0 -0.5	355 32	302 21	84.4 0.8
窒素施肥量	標準	71	5.1	10.9	372	313	83.7
	多肥 (7.2kg/10a 超)	16 (81.6 %)	9.2	10.3 0.6	419 -36	349 -36	83.5 0.2
麦踏	3 回以上	25	3.1	10.5	399	331	83.0
	2 回以下	74 (25.3 %)	1.4	10.6 -0.1	373 -26	317 14	84.7 -1.7
茎立期前の麦踏	有り	44	1.0	10.7	390	335	85.8
	無し	52 (45.8 %)	0	10.5 -0.3	374 16	309 26	82.8 3.0*

各項目の 1 段目は基本技術・管理を実施, 2 段目は同実施せず, 3 段目は 1 段目と 2 段目の差.

***, **, *; 0.1%, 1%, 5%水準で平均値の差が有意.

両地区をはじめ那須地方は秋播のビールオオムギの北限であり, また湯津上は 120~180m, 塩那は 190~320m と標高も高いことから, 播種適期が 10 月 21 日~11 月 5 日とされているが, 水田農業構造改革交付金の高度利用

加算助成金の推進等により大豆との二毛作圃場も多く, これら圃場においては大豆の収穫がビールオオムギの播種適期後となる場合も多い. 加えて, 湯津上等では国営那須野ヶ原開拓建設事業 (1967 年) で開田した圃場は水

第30表 各項目および主な肥培管理、資材の施用量の間における相関係数.

湯津上 塩那	粗タンパク 質含量	子実重	整粒重	整粒歩合	播種期	収穫日	麦踏	リン酸 改良資材	pH 改良資材	窒素	リン酸	加里
粗タンパク質含量		-0.008	0.065	0.181 ⁺	0.288 ^{**}	0.542 ^{***}	-0.109	-0.022	-0.177 ⁺	-0.257 [*]	-0.213 [*]	-0.252 [*]
子実重	0.217 [*]		0.956 ^{***}	0.054	0.023	-0.025	0.106	0.102	0.152	0.300 ^{**}	0.255 [*]	0.325 ^{**}
整粒重	0.348 ^{***}	0.893 ^{***}		0.328 ^{***}	0.173 ⁺	0.147	0.035	0.108	0.101	0.250 [*]	0.243 [*]	0.267 [*]
整粒歩合	0.339 ^{***}	-0.109	0.334 ^{***}		0.512 ^{***}	0.525 ^{***}	-0.211 [*]	0.051	-0.093	-0.062	0.047	-0.073
播種期	0.232 [*]	0.096	0.250 ^{**}	0.390 ^{***}		0.760 ^{***}	-0.257 ^{**}	0.008	-0.285 ^{**}	-0.137	-0.032	-0.102
収穫日	0.380 ^{***}	0.040	0.262 ^{**}	0.539 ^{***}	0.459 ^{***}		-0.208 ⁺	0.052	-0.409 ^{***}	-0.209	-0.078	-0.207
麦踏	-0.074	0.029	-0.172 ⁺	-0.438 ^{***}	-0.278 [*]	-0.216 [*]		-0.046	0.072	0.171	-0.005	0.170
リン酸改良資材	-0.215 [*]	0.066	0.024	-0.074	-0.146	-0.238 ^{**}	0.124		-0.237 [*]	-0.254 [*]	0.848 ^{***}	-0.268 ^{**}
pH改良資材	0.079	0.133	0.082	-0.107	0.091	-0.064	0.190 [*]	-0.132		0.334 ^{**}	-0.039	0.338 ^{**}
窒素	-0.155	0.076	0.018	-0.148	-0.092	-0.151	0.108	0.213 [*]	0.123		0.280 ^{**}	0.969 ^{***}
リン酸	-0.221 [*]	0.059	0.015	-0.085	-0.185 [*]	-0.256 ^{**}	0.126	0.952 ^{***}	-0.051	0.389 ^{***}		0.283 ^{**}
加里	-0.114	0.007	-0.022	-0.076	-0.105	-0.070	0.174 ⁺	0.027	0.181 ⁺	0.670 ^{***}	0.261 ^{**}	

左下：塩那地区，右上：湯津上地区。

***, **, *; 0.1%, 1%, 5%水準で有意。

リン酸改良資材は，熔燐。pH改良資材は苦土炭カル。

利費の問題やコメの良食味生産指向により，水稻・ビールオオムギ・大豆の輪作体系ではなくビールオオムギ・大豆の連作体系になり，ダイズの播種・収穫が遅くなるとビールオオムギの播種・収穫が遅くなり，またダイズの播種・収穫が遅くなるという負の連鎖が起きている。播種期の遅れによる粗タンパク質含量の高いビールオオムギ生産を是正するためには，輪作体系を含めて適期播種の推進が必要と考えられる。また，両地区ともリン酸施用量と粗タンパク質含量との間に負の相関(-0.221, -0.213)が認められた。リン酸施用により粗タンパク質含量が低下することはこれまでの知見と一致した(原田1974)。しかし，リン酸改良資材熔燐と相関が認められたのは塩那($r=-0.215$)のみであった。塩那の熔燐施用者の施用量の平均は90.9 kg/10aで，湯津上の70.0kg/10aよりも多かったが，相関の有無は施用量に差によるものかは不明であった。その他，湯津上では基肥(窒素，リン酸，加里)の施用量と粗タンパク質含量の間に負の相関が認められた。同様に子実重や整粒重と正の相関があった。それぞれの施用量は平均で塩那7.5:22.1:11.4に対して5.9:16.3:6.7kg/10aであったことから，基肥が増えることにより多収となりそれに伴い粗タンパク質含量が下がったと推察された。那須地方で現在施用されている基肥肥料は栃木県中南部向け沖積土壌用タイプ(窒素:リン酸:加里=12:18:14)で，那須地方に多く存在している黒ボク土向けのリン酸を増やし

た専用タイプ(8:18:16)は価格の面で使用されていない。土壌によりリン酸施用の効果が異なり(江川ら1957, 佐藤ら1992b)，黒ボク土ではリン酸吸収量が多いためによりリン酸量を増やすことが望ましく，またムギ類の初期生育，分けつ促進や耐寒性向上には播種後からリン酸の供給が重要であり(佐藤ら1992a, 農文協2001)，さらに熔燐はあることからムギ類が多収となる即効性(過燐酸石灰型)と遅効性(溶燐型)リン酸を合わせた肥料(石塚1948, 農文協2001)ではなく，播種時に可給態リン酸が低い場合や熔燐ではその効果が発揮されにくいものと考えられる。加えて，火山灰土壌においては苦土が欠乏するとリン酸施用の効果が発揮されにくいこと(江川ら1957)から，地域に応じたリン酸の割合の高い基肥や苦土重焼リン等即効性と遅効性のリン酸が混合されたリン酸資材の選択や苦土の供給等を考慮しながら使用を図ることが粗タンパク質含量の低減，適正化ならびに収量の向上には必要と思われる。pH改良資材の施用では，それぞれの地区で増収傾向にあったものの有意でなかったが，栽培条件の異なる両地区を込みにすると子実重および整粒重がそれぞれ37, 35kg/10a増加した(表は省略)。次に，茎立期前の麦踏は調査が実施の有無のために相関については調べることができなかったが，実施により塩那地区では子実重で有意に39kg/10a増加し(第29表)，両地区を込みにした場合には子実重および整粒重がそれぞれ35, 30kg/10a増加した(表は

省略). また, 湯津上地区では, 茎立期前の麦踏によって整粒歩合が 3%向上しており (第 29 表), これらのことから, 茎立期前の麦踏は収量確保や整粒歩合向上には有効と考えられた. 塩那地区のみの結果であるが, 湿害の発生によりそれぞれ 50kg/10a, 38kg/10a 減収した (第 29 表). 播種期と湿害の有無を調査した結果, 適期内の播種では約 5 割で湿害が発生していることから (第 31 表), 今後は徹底した湿害対策の励行が収量向上のポイントと考えられる.

以上, 塩那区および湯津上の生産者履歴等を用いて生産現場における栽培技術の実施状況を調査した結果, 基本技術とされる適期播種, 土づくり (リン酸改良資材・pH 改良資材の施用), 麦踏は十分に実施されていないことが判明した. 粗タンパク質含量の低減, 適正化には適期播種に努めることが, 収量の確保には茎立期前の麦踏や pH 改良資材の施用等が効果的で, 併せて湿害対策の励行が必要と考えられた. 併せて, 現在使用しているリン酸資材の熔燐が黒ボク土や森林土が多い本地方に十分適しているか検討の余地があった.

第 31 表 各播種期における湿害発生状況 (塩那地区).

播種期	人数	湿害発生	湿害発生率 (%)
～10 月 25 日	43	23	53.5
～10 月 31 日	27	13	48.1
～11 月 5 日	38	19	50.0
11 月 6 日以降	15	3	20.0

2. 土づくり肥料施用による粗タンパク質含量の低減適正化効果および経営改善効果

施用後の土壤分析結果を第 11 示した. pH は, 苦土炭カルの施用により無処理区 5.6 に比べて 5.8～5.9 に高まった. 可給態りん酸も同様に, 27.7mg/100g に比べて 37.9～47.5mg/100g に増加し, 特に苦土重焼りんを施用した区で冬期間中の可給態りん酸が高まり, 苦土も施用量に応じて 22.8mg/100g に比べて, 37.4～49.7mg/100g に高くなった.

生育調査および収穫物調査結果を第 11, 12, 13, 14 図, 第 33 表に示した. 草丈は, 2 月以降改善区 II が他区よりもやや長く無処理区ではやや短かったが, 稈長は差がなかった. 茎数は, 改善区 II が他処理よりも分けつの発生が多く, 最終的に穂数も多くなった. 穂長および 1 穂粒数は各処理間で差がなかった. 冬期間中の葉齢は, 改善区 I および II が他よりも多く, 施用量が多いほど多く

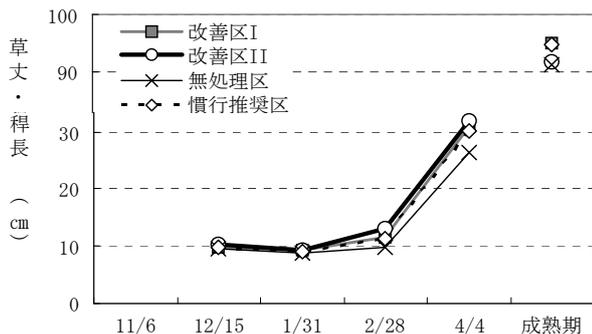
第 32 表 各処理における土壤の pH, リン酸, 苦土の変化.

処理区名	pH	リン酸 (mg/100g)	苦土 (mg/100g)
施用前	5.5	27.7	—
改善区 I	5.9	46.4	46.3
改善区 II	5.8	47.5	49.7
無処理区	5.6	27.7	22.8
慣行推奨区	5.9	37.9	37.4

1 月 31 日に土壤を採取し, 2 月 28 日に測定.

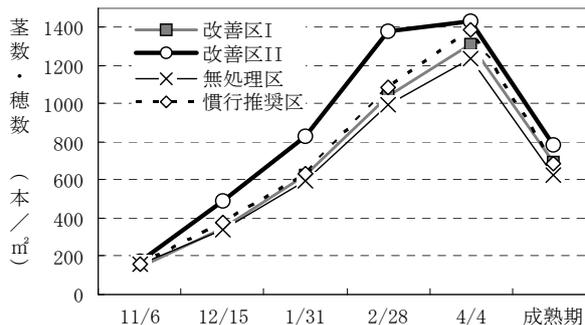
生育が促進された. 葉色は, 改善区 II が当初濃い傾向にあったが 2 月 28 日以降他処理より淡くなった. 収量は, 無処理区に比べて各区とも多くなったが, 整粒重では改善区 II が多処理に優り無処理区に比べて 40%増え, 慣行推奨区および改善区 I も同様に 31, 29%増加した. 粒の大きさは, 改善区 II では無処理区に比べて 2.8mm 以上の割合が減少したが整粒歩合および千粒重はそれぞれ差がなかった. 粗タンパク質含量は無処理区に比べて改善区 II で 0.7%, 慣行推奨区で 0.4%, 改善区 I で 0.2% 低くなったが改善区 II のみが有意であった. これらの結果は, オオムギは酸性に弱い作物(田中・早川 1974, 下野 1990, 農文協 2001) であり, 苦土炭カルによる土壤 pH の矯正によって生育が向上したことに加えて, 苦土重焼りんはムギ類が多収 (石塚 1948, 農文協 2001) となる即効性 (過磷酸石灰型) と遅効性 (溶燐型) リン酸を配合した肥料であり, 播種後からリン酸の供給がされることにより初期生育, 分けつを促進し (農文協 2001, 佐藤ら 1992a), 生育が促進し多収になったと考えられ, 多収になったことにより粗タンパク質含量も低下したと推察される. しかし, 改善区 I では, 収量における効果は慣行推奨区と同程度であったが, 粗タンパク質含量は低くならないため, 苦土重焼りんの施用量が少ないとその効果が小さいことが判明した. 以上から, 苦土重焼りん (+苦土炭カル) による粗タンパク質含量の低減・適正化のためには, 60kg/10a 以上の施用が望ましい.

次に, 経営面の調査結果を第 34 表に示した. 処理で改善に要した生産費のうち資材費は改善区 I 9310 円, 同 II 12740 円, 慣行推奨区 9100 円, 無処理区 0 円 (以上差のあるものについて算出), 収量変動に伴う乾燥調製費はそれぞれ 11003 円, 12011 円, 11089 円, 8474 円, 販売金額は 62016 円, 67269 円, 62717 円, 47908 円, それらの収支は 41703 円, 42518 円, 42528 円, 39433



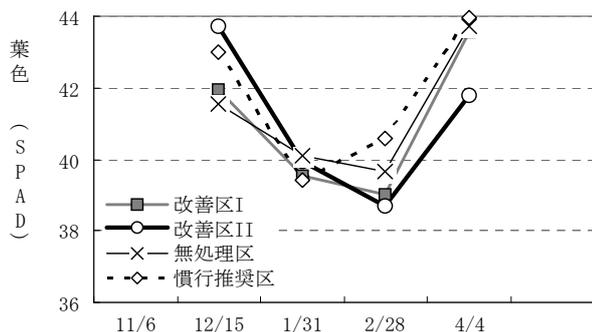
第11図 草丈の推移 (大田原 I).

成熟期は稈長.

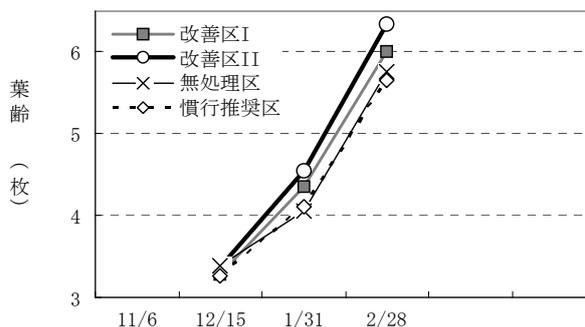


第12図 茎数・穂数の推移 (大田原 I).

成熟期は穂数.



第13図 葉色の推移 (大田原 I).



第14図 葉齢の推移 (大田原 I).

第33表 土づくり肥料の各処理における生育調査および収量調査結果.

処理	稈長 cm	穂数 本/m ²	穂長 cm	1穂粒数 粒/穂	子実重 kg/10a	整粒重 kg/10a	同左 標比 %	選粒歩合				粗タン パク質 含量 %	
								整粒歩合 %	2.8mm以上 %	~2.5mm %	千粒重 g		
大田原 I	改善区 I	95	693	5.3	23.9	494	463	129	93.7	56.3	37.4	38.7	10.0
	改善区 II	92	782	5.2	22.8	522	489	136	93.7	55.2	38.5	38.4	9.6
	無処理区	91	625	5.5	22.7	380	360	100	94.7	63.2	31.5	39.5	10.0
	慣行推奨区	95	688	5.5	23.8	486	460	128	94.8	60.4	34.4	39.9	9.8
大田原 II	改善区 I	87	569	5.6	23.7	408	371	130	90.9	54.3	36.6	38.0	11.5
	改善区 II	87	668	5.4	23.8	463	415	146	89.7	53.0	36.7	37.9	10.8
	無処理区	89	519	5.5	23.2	315	284	100	90.3	57.5	32.8	37.9	11.7
	慣行推奨区	91	562	5.5	24.5	424	383	135	90.4	56.1	34.3	38.3	11.2
平均	改善区 I	91	631 b	5.4	23.8	451 a	417 b	129	92.3	55.3 ab	37.0 a	39.3	10.7 ab
	改善区 II	89	725 a	5.3	23.3	492 a	452 a	140	91.7	54.1 b	37.6 a	39.1	10.2 a
	無処理区	90	572 c	5.5	23.0	347 b	322 c	100	92.5	60.3 a	32.2 b	38.7	10.9 b
	慣行推奨区	93	625 b	5.5	24.1	455 a	422 b	131	92.6	58.3 ab	34.3 ab	39.1	10.5 ab

同一アルファベットの記述のある処理間には Tukey の多重比較 (P<0.05) で有意差が無いことを示す。

円となり、無処理区に比べて 2270 円, 3085 円, 3094 円増加し経営的にも改善がされた。しかし、現在栽培指針で推奨している慣行推奨区に比べると、改善区 I では 825 円減、同 60kg 区では 9 円減という結果で、経営的には同程度かマイナスであった。ビールオオムギは契約

栽培にて生産が行われているが、近年、契約達成率が 7 割程度と低下し問題になっていることから (栃木県農政部 2009), 本結果での苦土炭カル 100kg/10a と苦土重焼りん 60kg/10a の施用 (改善区 II) では収量の増加と低タンパク化が図られるため、実需者の要望に応えるべく

第 34 表 各処理における経営評価結果.

(円/10a)

処理	資材費				計 (A)	乾燥調製費 (B) (23 円/kg)	販売金額 (C) (147.32 円/kg)	収支 (C-A-B) 円	無処理区との差 円
	苦土炭カル (490 円/20kg)	苦土重焼りん (3430 円/20kg)	熔燐 (1330 円/20kg)						
大田原 I	改善区 I	2450	6860	0	9310	12053	68848	47485	+3235
	改善区 II	2450	10290	0	12740	12728	72743	47275	+3025
	無処理区	0	0	0	0	9265	53515	44251	-
	慣行推奨区	2450	0	6650	9100	11844	68448	47505	+3254
大田原 II	改善区 I	2450	6860	0	9310	9953	55183	35921	+1305
	改善区 II	2450	10290	0	12740	11294	61795	37761	+3145
	無処理区	0	0	0	0	7684	42300	34616	-
	慣行推奨区	2450	0	6650	9100	10334	56985	37550	+2934
平均	改善区 I	2450	6860	0	9310	11003	62016 b	41703 a	+2270
	改善区 II	2450	10290	0	12740	12011	67269 a	42518 a	+3085
	無処理区	0	0	0	0	8474	47908 c	39433 b	-
	慣行推奨区	2450	0	6650	9100	11089	62717 b	42528 a	+3094

同一アルファベットの記述のある処理間には Tukey の多重比較 (P<0.05) で有意差が無いことを示す。

2008 年秋の価格で計算した。

生産技術として有用と考えられる。

現在、スカイゴールデンの普及にあたり、高タンパク麦生産対策として過去 4 年間のうち 3 回以上レッドカード (12.0%超) を受けた場合、ビールオオムギの栽培を中止することが決定している。苦土炭カル 100kg/10a と苦土重焼りん 60kg/10a の施用技術は経営的には従来の栽培指針の苦土炭カル 100kg/10a と熔燐 100kg/10a と同じであるが、収量の向上と粗タンパク質含量の高いビールオオムギを生産する危険性が低下することにより、長年にわたりビールオオムギ生産を続けていく上で重要な安定生産の技術の 1 つとして有効と考えられる。なお、苦土重焼りんの施用量が少なくなるとその効果が低下することに気をつけなければならない。また、近年資材費の高騰が問題となっているが、コストの低減のためには堆肥の施用や輪作作物も合わせて土づくりに努め、恒常的な地力向上を図っていく必要があり、土づくりにおいて pH 改良資材、リン酸改良資材と複数回にわたる資材の施用は経営体にとって負担になるので、できれば 1 回で済むような資材の開発が必要と思われる。また、各資材の施用にあたり土壌分析に基づいた適正な施用も必要と考えられる。

第 3 節 栃木県におけるスカイゴールデンの普及

スカイゴールデンは、大麦縮萎縮病抵抗性に加えて多

収で整粒歩合が高く、また優れた醸造用品質を有していたが、粗タンパク質含量、可溶性窒素、コーンバツハ数が高くなる場合があった (谷口ら 2001, 関和ら 2001)。そのため、2000 年の育成時には栃木県内の大麦縮萎縮病 III 型発生地帯である県南地区に限定し、その約 50% の 2500ha の普及を想定していた。その後、前述の大麦縮萎縮病発生に関する調査によって、現在普及している品種では不十分なことが明らかになり、特に想定していなかった県北地域の主産地である那須地方では全面的にスカイゴールデンに転換することが望ましい状況になった。そこで、那須地方においてスカイゴールデンの生産にあたり、高品質安定生産の実現に向けた取り組みを検討し、しいは栃木県における高品質ビールオオムギ生産に向けた提案を行った。

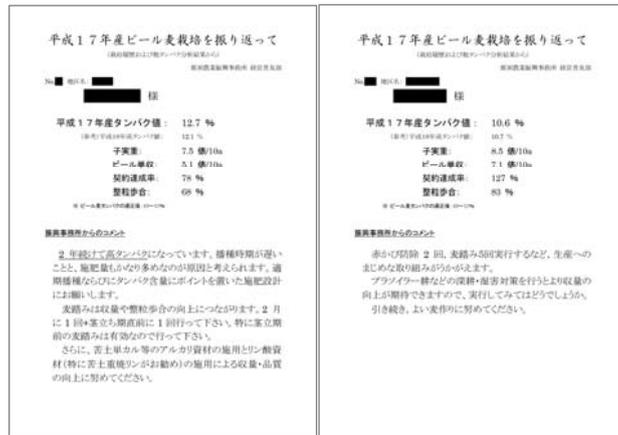
材料と方法

1. 那須地域における普及

生産者および集荷団体の営農指導員に対し、次の取り組みを行った。

1) 栽培指針の策定

これまでの栽培指針はコムギ、ビールオオムギ、六条オオムギを一緒にしたものであり、今回スカイゴールデン専用の栽培指針を策定した (第 15 図左)。指針は、生産者がスカイゴールデンの特性を理解し各基本技術に取



第 15 図 新しく品種別に作成した栽培指針 (左), 粗タンパク質分析データや栽培履歴に基づく処方箋 (右上), 粗タンパク質分析データを知らせる色つきカード (右下. 左から, オレンジ・ブルー・ホワイト・イエロー・レッド).

り組めるように、ポイントを絞って作成した。それぞれの概要は、

① 品種特性に基づいた栽培上の注意

初期生育が劣ること、不稔が発生しやすく、発生時には赤かび病に罹りやすいこと、根張りが悪いと茎立ち期以降に肥料切れを起こしやすいこと、麦踏み等が不十分な場合、遅発茎の発生が多くなり遅できて刈り取りが遅れる等に注意を促した。

② 作業暦

圃場準備 (圃場耕起, 排水対策, 種子準備, 播種), 除草剤散布, 麦踏, 茎立期前の麦踏, 赤かび病防除, 赤かび病防除, 収穫など主な作業について、時期ごとに暦に図示した。

③ 栽培の基本的な考え方, 施肥や防除の管理

品種特性に対応した栽培技術として、圃場の選定, 酸度調整, りん酸欠乏対策, 深耕の実施, 適期播種, 麦踏みの励行をポイントとし、基肥, 播種期, 播種量, 播種深度, 種子消毒, 除草, 麦踏, 病虫害防除について、具体的な資材名や量, 時期を示すと共に、注意点を列記した。

④ 適期収穫

適期刈取の判断基準となる写真や判定法や発芽勢を落とさない刈取上の注意を記述した。

また、指針の補足資料として栽培のポイントの解説と

スカイゴールデンの説明資料を作成し、全生産者に配布した。

2) 栽培講習会と個別指導

生産者の指導に先んじ、各地区の麦部会役員および集荷団体の営農指導員を対象に、栽培指針の説明と生産者の実践に向けて検討会を開催し、生産現場の問題点の洗い出しや高品質安定生産への啓蒙を行った。また、収量が低い塩那地区および特に粗タンパク質含量が高くなりやすい湯津上では、これまで自由参加であった播種前の栽培講習会は必ず参加することとし、講習会に参加しやすいように日中から夜間に開催時間を変更し、1回の開催を複数回に増やした。講習会にあたり個別に過去の粗タンパク質分析データや栽培履歴に基づく評価と取り組みの処方箋 (第 15 図右上) と粗タンパク質含量分析値に基づくカード (12%超: レッド, 9%未満: オレンジ, 11%超~12%: イエロー, 9%~10 未満ブルー, 10~11%: 白) を作成し (第 15 図右下), 生産者に粗タンパク質含量の重要性訴えながら配布した。処方箋の内容は、過去の粗タンパク質含量, 収量, 整粒歩合のデータに前年度の生産者履歴内容に基づく基本技術の実施状況と改善内容の指示を具体的に記入すると共に、受入基準外の 12%超および 9%未満の生産者に対しては、タンパクの適正化に向けて栽培状況等を詳細に聞き取りし、今後の取り組みについて、個別に指導を行った。

3) 展示圃の設置

生産者がビールオオムギ生産に対し、より意欲が高まるように、適期播種、湿害対策、土づくり等基本技術実施による安定多収化の展示圃や圃場面緩傾斜化技術(若杉・藤森 2008)等先端技術の展示圃を麦部会や集荷団体と共に設置した。また、前節の苦土炭カルと苦土重焼リン施用による多収、粗タンパク質低減化技術に基づき 1 回で同時に施用できる専用混合肥料(小野田化学(株)、製品名 OM-37)を開発し、展示圃を設置した。これら展示圃を用いて、現地検討会、麦踏講習会、刈取指導会、共励会検討会、麦部会研修会を開催した。

4) 栽培指導資料の配付

月に 1 回以上、生育概況と対策技術について生産者ができる限り実践しやすいように、写真や図を入れて作成し(第 16 図右)、全生産者に配布して、各種技術の励行を促した。

5) 刈取指導

まず、麦部会や集荷団体の営農指導員に対し各熟度の異なる圃場に出向き、刈取時期の判断の目合わせを行った後、各集落ごとに生産者を対象に刈取指導会を開催した。次に、各共同乾燥調製施設(カントリーエレベーター、ライスセンター)を巡回し、受入判断の指導を行うと共に、受入前に生産者履歴の中間確認を実施し、赤カビ病防除の確認(防除歴の無いビールオオムギは受入し

ない)や品種の確認を徹底させた。また、ビール麦比率の低い塩那地区では、県南地域で実施している旗立て運動(刈取適期になった圃場(代表)に目印となる旗を立てて刈取判断の目安とする運動)をモデルとして、全生産者の圃場に刈取の時期の判断をした紙を設置した(第 16 図)。

6) 栽培履歴記帳

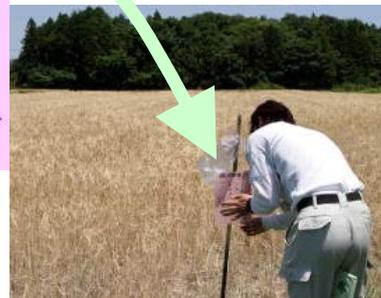
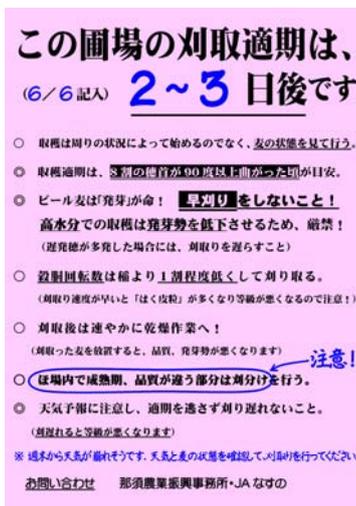
那須地方では 2003 年産より栽培履歴の記帳が図られてきたが、農薬の記入を除き徹底されていなかったが、粗タンパク質含量の適正化や適切な肥培管理に伴う高品質安定生産を図るために、栽培履歴の記帳の徹底を目指して、栽培履歴記入のための講習会や確認作業、個別指導を行った。また、栽培履歴は粗タンパク質含量の適正化のための指導に活用した。

7) 実需者との意見交換会

生産者の集まりである麦部会の研修会において、これまでの多収化技術等の研修に変えてビールオオムギを原料として使う実需者の視点から生産することの重要性を認識させるために、ビール会社に講演をお願いして講演会ならびに意見交換会を実施した。

2. 栃木県における普及

大麦縞萎縮病の発生状況に基に、スカイゴールドの普及を図った。作付けにあたり高品質安定栽培法(栃木県農業試験場 2004, 山口ら 2005)や那須地方での取り



第 16 図 生育概況と対策指導資料(左)と、刈取指導資料の例(右)。

組みを参考に栽培指針を策定すると共に、県麦作技術検討会等で栽培指導に当たる普及指導員の意識の高揚、共通化を図り、実需者の要望に従う高品質な生産に努められるように活動した。

結果と考察

1. 那須地域における普及

栃木県第2の産地である那須地方においては、なす二条が1992年産より主力品種として栽培され、ビールオオムギの安定生産が図られてきた。しかし、近年の大麦縞萎縮病の発生拡大によって収量や品質が低下し、実需者のニーズに即した生産が不可能となっている。一方、新品種のスカイゴールデンは2004年産より試作的に栽培が開始されたが、粗タンパク質含量が高くなりやすい等の特性があり、その普及には消極的であった。前章の大麦縞萎縮病の発生状況から生産の安定にはスカイゴールデンが必要であることの認識が高まったことと、生産現場の実態と課題が明らかになったことに対して、本取り組みにより生産者や集荷団体がスカイゴールデンの生産意欲が向上し新品種に対する不安が期待に変わったことにより、作付面積は2005年産183.6ha(10.3%)から2006年産1115.0ha(64.6%)、2007年産1529.3ha

(100.0%)とスカイゴールデン転換が図られた。懸念されていた受入基準外の高い粗タンパク質含量(12.0%超)の生産者の割合は第35表に示したとおり2003年～2006年の平均19.2%から2007年産2.7%、2008年産13.0%となり、地域別では9地域中2003年2006年までの8, 8, 9, 8位からそれぞれ5位, 7位と是正が図られた。しかし、粗タンパク質含量の適正化に向けてはまだ改善の余地があり、今後は栽培履歴の管理に加えて土壌分析の実施により、よりきめ細かな対応が必要と思われる。

2. 栃木県における普及

2005年産からスカイゴールデンはビールオオムギとして契約対象品種に指定された(栃木県農務部2004)。なお、2009年産からIおよびIII型に抵抗性のサチホゴールデンが指定品種となっている(栃木県農政部2009)。第1節の大麦縞萎縮ウイルス系統の発生状況や品種特性から、県北地域を除きサチホゴールデンの普及拡大時まではスカイゴールデンの普及が望ましいが、スカイゴールデンの普及にあたり、粗タンパク質含量に配慮した栽培は必須であることから、全県を挙げて粗タンパク質含量のチェックや分析値に基づいた肥培管理の徹底の指導が推進された。その結果、スカイゴールデンの作付面積

第35表 各地域における受入基準外の高い粗タンパク質含量(12.0%超)の生産者の割合。(上段:%, 下段:位)

地方 年次(産年)	那須	那須南	塩谷	河内	芳賀	下都賀 (下野)	下都賀 (小山)	安足 (佐野)	安足 (足利)	県全体	県全体 (除, 那須)
2003年	23.8	4.3	28.9	12.6	19.8	19.2	12.9	4.4	2.4	18.0	16.2
	8	2	9	4	7	6	5	3	1		
2004年	11.2	3.0	0.9	4.9	3.8	5.2	2.7	12.8	3.5	5.8	4.6
	8	3	1	6	5	7	2	9	4		
2005年	8.9	3.6	1.0	2.0	0.8	3.3	5.1	2.5	0.5	4.2	3.2
	9	7	3	4	2	6	8	5	1		
2006年	32.9	4.3	0.0	33.6	0.0	0.5	0.5	15.7	5.6	9.5	5.2
	8	5	1	9	1	3	4	7	6		
平均	19.2	3.8	7.7	13.3	6.1	7.0	5.3	8.8	3.0	9.4	7.3
2007年	2.7	5.6	0.3	5.5	6.8	0.6	0.5	3.2	0.5	1.5	1.3
	5	8	1	7	9	4	2	6	3		
2008年	13.0	18.8	9.5	11.3	32.5	5.3	3.4	3.5	0.9	6.0	4.8
	7	8	5	6	9	4	2	3	1		

上段は、粗タンパク質含量12.0%超の生産者の割合。下段は、地方別の粗タンパク質含量12.0%超の生産者の割合の順位。粗タンパク質含量12.0%超の数字は大きい方が悪い。

第 36 表 栃木県におけるスカイゴールデンの作付面積の推移. (ha)

		2004 年	2005 年	2006 年	2007 年	2008 年
スカイゴールデン	計画面積	830	1350	1680	2500	2500
	普及面積	844	1435	3764	5639	6639
	面積率 (%)	7.8	14.4	39.2	61.5	71.3
ビールオオムギ合計		10805	9972	9590	9167	9305

栃木県農政部調べ。

の増えた 2006 年以降も受入基準外の高い粗タンパク質含量の割合は高まっていない (第 35 表)。なお、これら活動は 2008 年産から国内で初めてとなる麦における GAP (農業生産工程管理) の取り組みに発展している。本取り組みにより、なす二条 (2007 年産)、みょうぎ二条 (2008 年産)、ミカモゴールデン (2010 年産) の作付けを中止し、以後スカイゴールデンが実需者の要望に基づき作付けが推進されることとなった。2008 年産までのスカイゴールデンの作付面積は、県南地域および県北地域の大麦縞萎縮病常発地帯を中心に普及を図った結果、2001 年の目標作付面積 2500ha (栃木県農務部 2002) を超えて 6639ha まで拡大し、栃木県の品種割合で 71.3%まで普及した (第 36 表)。加えて、栃木県における大麦縞萎縮病発生面積は 1982 年からの調査史上初めて 0ha (第 17 図) となり、その被害は皆無となり、大麦縞萎縮病被害によらない高品質安定生産が実現した。

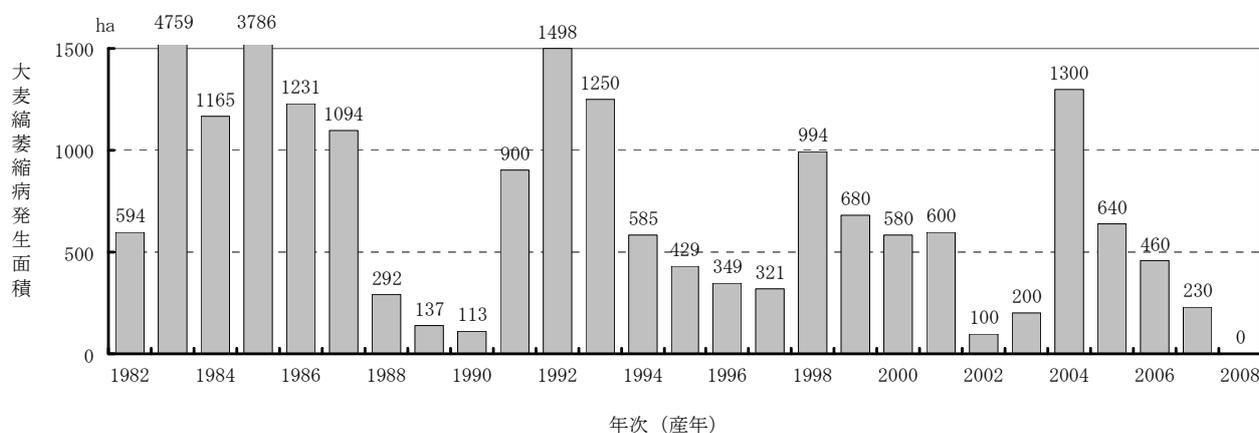
以上、大麦縞萎縮病抗性品種の普及に併せて、産地における系統の発生の把握と系統発生に対応した品種選定、ならびに高品質を実現する栽培技術の徹底により、迅速な普及とともにビールオオムギのより一層の高品質安定

生産が実現するものと考えられる。

まとめ

栃木県南地域では大麦縞萎縮ウイルス III 型の常発化により、県北地域では I 型や IV 型の拡大とミカモゴールデンでは整粒歩合が低いため安定生産が図れないことから、両地域において大麦縞萎縮病 I~IV 型に抵抗性で整粒歩合の高いスカイゴールデンの作付けを進める必要があると考えられた。

スカイゴールデンの普及にあたり、恒常的に粗タンパク質含量が高い那須地方のビールオオムギ生産者 235 名の生産者履歴等を用い、ビールオオムギ生産現場の課題を調査した。その結果、適期播種、土づくり等基本技術の励行は約半分程度しか行われていないことが判明した。粗タンパク質含量の低減には適期播種に努めること、収量の確保には茎立期前の麦踏や pH 改良資材の施用、湿害対策の励行が有効であると考えられた。また、高品質多収技術として、苦土炭カル 100kg/10a と苦土重焼燐 60kg/10a 以上の施用を行うことにより、粗タンパク質含量の低減化と収量の向上および経営改善が図れることを



第 17 図 栃木県における大麦縞萎縮病発生面積の推移。

栃木県農業環境指導センター調べ。

明らかにした。

スカイゴールデンは、県南地域および県北地域の大麦縞萎縮病常発地帯を中心に普及面積を拡大し、実需者の要望に従う高品質ビールオオムギの生産に努める様指導を徹底した結果、2008年産では6639ha、栃木県の品種割合で71.3%まで普及し、栃木県における大麦縞萎縮病発生面積は1982年からの調査史上初めて0haとなり、その被害は皆無となった。

第6章 総合考察

ビールオオムギは、ビールの主原料として用いられ、契約栽培にて生産が行われている。そのため、安定した収量と優れた品質が厳しく要求される。ビールオオムギ生産にとって最も重要な病害は大麦縞萎縮病で、罹病すると著しい減収と粗タンパク質含量の上昇や醸造用品質の劣化により、原料としては不適となる。大麦縞萎縮病に対する抵抗性育種は1964年から本格的に始められ、ミサトゴールデン等 *rym5* を持った品種の育成により一次的に産地に福音がもたらされたが、大麦縞萎縮病の病原ウイルスの系統分化により、本研究まで完全に抵抗性となるビールオオムギ品種は育成されてなかった。

一方、栃木県は1917年以降我が国で最大のビールオオムギ産地であり、その生産量は国産の約4割を占めている。栃木県におけるビールオオムギ生産の安定は国内自給上重要な課題であるが、土地利用型農業を営んでいる生産者にとってもビールオオムギは基幹冬作物であることから、大麦縞萎縮病による被害の発生は農業経営を左右する大きな問題である。

本研究では、ビールオオムギの新品種育成により高品質安定生産を実現するために、大麦縞萎縮病抵抗性遺伝子集積品種の育成と普及に主眼をおいた。

栃木県農業試験場で育成されたビールオオムギ品種における家系分析では、はるな二条との近縁係数が高く、はるな二条は醸造適性に影響を与えていたが、他にも収量や早生化にも影響を及ぼしていることを明らかにできた。また、大麦縞萎縮病の抵抗性遺伝資源品種と育成品種との近縁係数が低いことや、品種育成において遺伝的多様性はあまり広がっていないことが判明し、今後新しい遺伝資源の探索・導入を図りつつ遺伝的多様性を維持した育種を進めていくことが重要と思われた。

次に、栃木県における大麦縞萎縮ウイルス系統の発生調査では、県南地域ではIII型が常発化していること、県中北地域ではI型が発生していることを確認した。さ

らに、栃木県大田原市では *rym3* を犯すIV型を見出し、未同定であった山口新型系統は新しいV型であることを明らかにした。これらのI~V型に対し、大麦縞萎縮病抵抗性遺伝子を集積したスカイゴールデン、木石港3、中泉在来は抵抗性を示し、今後のビールオオムギ品種育成においては *rym3* と *rym5* または *rym1* と *rym5*、あるいは *rym1* と *rym3* と *rym5* の集積が必要と考えられ、抵抗性遺伝子の組合せについて示唆することができた。

大麦縞萎縮ウイルスの系統分化に対応した抵抗性ビールオオムギ品種育成を図るために、効率的な選抜法を検討では、これまで利用されてきた *rym3* と *rym5* を持つ品種との交雑後代において、エステラーゼアインザイム遺伝子 *Est1-Est2-Est4* の遺伝子型と大麦縞萎縮病汚染圃場のI型圃場およびIII型圃場を用いることにより *rym3* と *rym5* とを集積した品種の選抜法を開発でき、その誤選抜率は4.9%と品種育種上有効であることがわかった。また、今回 *rym3* と *rym5* を持つ品種との交雑後代において農業形質で選抜を行うことにより *rym3* の出現頻度が有意に低く歪むことを明らかになったことから、本法や近年栃木県農業試験場で実施しているM.A.S. (Marker Assisted Selection) と用いることにより効率的な育種が図れると考えられ、さらに、本法を用いて、目標とした *rym3* と *rym5* とを集積したスカイゴールデンを育成することができた。スカイゴールデンは、粗タンパク質含量が高くなりやすい特性があるものの、大麦縞萎縮病抵抗性に加えて、耐倒伏性に優れ、多収で整粒歩合が高く、うどんこ病にも抵抗性で、またエキスが高く、優れた醸造用品質を有し、ビールオオムギの安定多収高品質生産に寄与できるものと考えられた。

スカイゴールデンの普及にあたっては、当初の目標作付面積はIII型の発生している県南地域の約5割の2500haであったが、本研究の大麦縞萎縮ウイルス系統の発生調査から、現在普及しているミカモゴールデンや、なす二条では安定生産が図れないことが判明した。ビールオオムギの高品質安定生産のためには現場の状況に応じて品種の普及を進めなければならないと考え、まず、スカイゴールデンの普及にあたり、生産現場における課題を明らかにした。恒常的に粗タンパク質含量が高い那須地方のビールオオムギ生産者235名の生産者履歴等を用いて、解析を試みたが、適期播種、土づくり等基本技術の励行は約半分程度しか行われていないことが判明した。栃木県においては、長年にわたり基本技術の励行を指導してきたが、本結果から高品質安定生産のためにはばらつきのない現場の取り組みがいかに重要であるかが判明した。また、粗タンパク質含量の低減には適期播種に

努めることや、収量の確保には茎立期前の麦踏や pH 改良資材の施用、湿害対策の励行が有効であることと、高品質多収技術として苦土炭カル 100kg/10a と苦土重焼燐 60kg/10a 以上の施用を行うことにより粗タンパク質含量の低減化と収量の向上および経営改善が図れることを明らかにできた。これらの結果をもとに、まず那須地区においてスカイゴールデンの高品質安定生産を目指し、栽培指針の策定、全ての生産者を対象にした栽培講習会、生育情報および対策資料の配付、刈取指導会の実施に加えて、粗タンパク質含量の分析値および栽培履歴に基づいた個別指導会を実施した。その結果、特に不適正とされる粗タンパク質含量 12.0%超の生産者の割合が 2003～2006 年の平均 19.2%から 2008 年 2.7%、2009 年 13.0%と減少し、地域別の順位では 9 地域中 8～9 位から 5, 7 位と向上し、高品質化が図ることができた。

栃木県全域におけるスカイゴールデンの普及では、大麦縞萎縮病の発生に応じ面積を拡大し、実需者の要望に従う高品質ビールオオムギの生産に努める様指導を徹底した。その結果、2008 年産では 6639ha、栃木県の 71.3%まで普及し、栃木県における大麦縞萎縮病発生面積は 1982 年から調査史上初めて 0ha となり、その被害を抑制することができた。また、2007 年産以降ビールオオムギとして国内で最大面積を占めるに至った。これは、品種の欠点を栽培技術ならびに普及活動により補ったために可能となったと推定される。

以上、ビールオオムギの高品質安定生産をめざし、大麦縞萎縮病抵抗性遺伝子の集積法を開発し、集積したスカイゴールデンを育成した。効率的な普及が可能となるように、栃木県内における大麦縞萎縮病の発生状況を明らかにし、発生状況に応じた品種の導入、作付けが図れるようにした。また、生産現場における課題を明らかにし、品種の欠点である粗タンパク質含量が高くないための栽培法を確立し、これらを積極的に生産者に働きかけることにより、目標を上回る普及が実現した。

本成果は、今後ビールオオムギの安定生産に大きく寄与するものと考えられる。

引用文献

- Bettina, P., S. Stefan, B. Eva, S. Nils, P. Dragan, S. Andra, F. Wolfgang, O. Frank and G. Andreas 2005. High-resolution mapping of *Rym4/Rym5* locus conferring resistance to the barley yellow mosaic virus complex (BaMMV, BaYMV, BaYMV-2) in barley (*Hordeum vulgare* ssp. *Vulgare* L.). *Theor. Appl. Genet.* 110:283-293.
- ビール酒造組合 2000. 日本のビール大麦. ビール酒造組合, 東京. 1-76.
- 江川友治・関谷宏三・飯村康二 1957. 畑土壌の性質と燐酸の肥効の現われ方. *農技研報* B7:31-52.
- Friedt, W. and B. Foroughiwehr 1987. Genetics of resistance to Barley Yellow Mosaic Virus. *Barley Genetics* V:659-664.
- 藤井敏男・北原操一・鈴木崇之 1981. オオムギ縞萎縮病抵抗性ビールムギ品種育成に関する研究 1. はがねむぎ由来の高度抵抗性二条オオムギ系統について. *育種* 31(別 1):20-21.
- 藤井敏男・小林俊一・瀬古秀文 1984. 大麦縞萎縮病抵抗性ビールムギ品種育成に関する研究 4. 抵抗性系統の有用性. *育種* 34(別 1):306-307.
- Goulden, C.H. 1939. Problems in plant selection. In R.C. Punnett (ed.), *Proc. 7th Internat. Genet. Cong.* Cambridge Univ. Press, London. 132-133.
- Graner, A. and E. Bauer 1993. RFLP mapping of the *ym4* virus resistance gene in barley. *Theor. Appl. Genet.* 86:689-693.
- 群馬大学 1995. 社会統計学研究室 (統計学) <http://aoki2.si.gunma-u.ac.jp/Mokuji/index2.html> (2009/4/28 閲覧).
- 萩内謙吾 2008. 秋播性コムギの冬期播種栽培に関する研究. *岩手農研センター研報* 8:1-56.
- 原田哲夫 1974. 二条大麦の品質に関する作物学的研究. *広島農試報* 34:1-82.
- Hvid, S. and G. Nielsen 1977. Esterase isoenzyme variants in barley. *Hereditas.* 87:155-162.
- 井辺時雄 1991. 良食味水稻品種の育成と今後の方向. *農及園* 66:575-581.
- 石塚喜明 1948. 小麦に対する燐酸の効果. *農及園* 23:339-343.
- Jensen, J., J.H. Jorgensen, H.P. Jensen, H. Giese and H. Doll 1980. Linkage of the hordein loci *Hor1*

- and *Hor2* with powdery mildew resistance loci *MI-k* and *MI-a* on chromosome 5. *Theor. Appl. Genet.* 85:27-31.
- Kahler, A.L. and R.W. Allard 1970. Genetics of isozyme variants in barley. I. Esterase. *Crop Sci.* 10:444-448.
- Kashiwazaki, S., K. Ogawa, T. Usugi, T. Omura and T. Tsuchizaki 1989. Characterization of several strains of Barley Yellow Mosaic Virus. *Ann. Phytopath. Soc. Japan* 55:15-25.
- 柏崎哲 1990. 大麦縞萎縮病における病原ウイルス系統と大麦縞萎縮病抵抗性をめぐる諸問題 - 病原ウイルス系統の研究の現状と今後の課題 - . *農業技術* 45:111-115.
- Kashiwazaki, S., Y. Minobe, T. Omura and H. Hibino 1990. Nucleotide sequence of barley yellow mosaic virus RNA 1 : a close evolutionary relationship with potyviruses. *J. Gen. Virol.* 71:2781-2790.
- Kashiwazaki, S., Y. Minobe and H. Hibino 1991. Nucleotide sequence of barley yellow mosaic virus RNA 2. *J. Gen. Virol.* 72:995-999.
- 加藤常夫・長嶺敬・糸川晃伸・山口恵美子・大野かおり・渡辺浩久・大関美香・大塚勝・五月女敏範・関和孝博・河田尚之・石川直幸・谷口義則・福田暎・山口昌宏・加島典子・小玉雅晴・早乙女和彦・渡邊修孝・小田俊介・仲田聡・徳江紀子・常見讓史・野沢清一・佐藤圭一・宮川三郎・神永明 2006. 二条大麦新品種「サチホゴールド」の育成(二条大麦農林 22 号). *栃木農試研報* 58:59-77.
- Kawada, N. and M. Tsuru 1987. Genetics and breeding of resistance to Barley Yellow Mosaic Virus. *Barley Genetics V*:651-657.
- 河田尚之 1989. オオムギ縞萎縮病抵抗性の遺伝様式 IV. 不完全優性遺伝子の遺伝分析. *育種* 39(別 2):286-287.
- 河田尚之・鶴政夫 1990. 大麦縞萎縮病抵抗性遺伝子の同定と抵抗性育種戦略. *九州農試年報*:34-38.
- Kawada, N. 1991. Resistant cultivars and genetic ancestry of the resistance genes to Barley Yellow Mosaic Virus in barley. *Bull. Kyushu Natl. Agric. Exp. Stn.* 27:65-79.
- 河田尚之・五月女敏範 1998. オオムギ縞萎縮病抵抗性準同質遺伝子系統の作出と病原ウイルス系統に対する反応. *栃木農試研報* 47:65-77.
- 木村栄 1994. ニラの新品種育成 1) 交雑育種および交雑系統の品種選定. 平成 5 年度野菜試験研究成績概要集 関東・東海(I):96-97.
- Kobayashi, S., H. Yoshida and K. Soutome 1987. Breeding for resistance to yellow mosaic disease in malting barley. *Barley Genetics V*:667-672.
- 小林俊一・吉田智彦 2006a. RAPD 分析による栃木県を中心とした関東周辺地域のムギ類優良品種識別. *日作紀* 75:165-174.
- 小林俊一・吉田智彦 2006b. コムギおよびオオムギにおける家系図から計算した近縁係数と分子マーカーから推定した遺伝的距離との関係. *日作紀* 75:175-181.
- Kohn, G.D. and R.R. Storrier 1970. Time of sowing and wheat production in southern NSW. *Austr. J. Exp. Agric.* 10:604-609.
- Kojima, A., Y. Nagato and K. Hinata 1991. Degree of apomixis in Chinese chive (*Allium tuberosum*) estimated by esterase isozyme analysis. *育種* 41:73-83.
- 小西猛朗・松浦誠司 1987. わが国の二条大麦品種の変遷とエステラーゼ同位酵素の変異. *育種* 37:412-420.
- 小西猛朗 1989a. 稲の進化遺伝学的研究におけるアイソザイムの育種的利用. *育種学最近の進歩* 29:79-82.
- 小西猛朗 1989b. 同位酵素からみた大麦の遺伝的分化に関する研究. 昭和 63 年度科学研究費補助金 研究成果報告書. 1-150.
- Konishi, T. and S. Matsuura 1989c. Linkage relationship between two loci for the Barley Yellow Mosaic Resistance of Mokusekko 3 and esterase isozymes. *育種* 39:423-430.
- Konishi, T. and R. Kaiser 1991. Genetic difference in Barley Mosaic Virus Resistance between Mokusekko 3 and Misato Golden. *育種* 41:499-505.
- Konishi, T., T. Ban, Y. Iida and R. Yoshimi 1997. Genetic analysis of disease resistance to all strains of BaYMV in a Chinese barley landrace, Mokusekko 3. *Theor. Appl. Genet.* 94:871-877.
- Konishi, T. 2000. Proposed gene symbols for resistance to Barley Mild Mosaic Virus (BaMMV) in barley. *Barley Genet. Newsletter* 30:4-5.
- Konishi, T., F. Ordon and M. Furusho 2002. Reactions

- of barley accessions carrying different *rym* genes to BaYMV and BaMMV. *Barley Genet. Newsletter* 32:46-48.
- 増田澄夫・川口数美・長谷川康一・東修 1993. わが国におけるビール麦育種史. ビール麦育種史を作る会(ビール酒造組合内),東京. 3-452.
- 宮川三郎・佐々木昭博・福田暎・早乙女和彦・加藤常夫・五月女敏範・神永明・大塚勝・桐生光広・伊藤浩・吉田久・田谷省三・天谷正行・小林俊一・瀬古秀文・藤井敏男・小松田美津留・氏原和人・関口忠男・倉井耕一 1993. 二条大麦新品種「ヤチホゴールド」の育成. *栃木農試研報* 40:109-128.
- 水田一枝・吉田智彦 1994. ビール大麦交配両親名データベースの構築と解析. *農業情報研究* 3:65-78.
- 水田一枝・佐々木昭博・吉田智彦 1996. 近縁係数のための Prolog によるコンピュータプログラムとそのビール大麦品種の近縁関係の解析への応用. *農業情報研究* 5:19-28.
- Muramatsu, M. 1983. Breeding of malting barley variety which is resistant to Barley Yellow Mosaic. *Barley Genetics III*:476-485.
- 長嶺敬・天谷正行・池田達哉・大関美香・春山直人・加藤常夫・五月女敏範 2007. ビール大麦の主要形質 DNA マーカーの開発・評価と育種利用上の問題点. *栃木農試研究報告* 59:1-10.
- 中川原捷洋 1976. 遺伝子の地理的分布からみた栽培イネの分化. *育種学最近の進歩* 17:35-44
- Nishigawa, H., T. Hagiwara, M. Yumoto, T. Sotome, T. Kato and T. Natsuaki 2008. Molecular phylogenetic analysis of Barley yellow mosaic virus. *Archi. Virol.* 153:1783-1786.
- 農文協 2001. 転作全書 第 1 巻 ムギ. (社)農山漁村文化協会, 東京. 1-790.
- 農業研究センター 1986. 醸造用大麦調査基準. 農業研究センター, 茨城県. 1-74.
- Nomura, K., S. Kashiwazaki, H. Hibino, T. Inoue, E. Nakata, Y. Tsuzaki and S. Okuyama 1996. Biological and serological properties of strains of barley mild mosaic virus. *J. Phytopathol* 144:103-107.
- 小川圭・渡辺健・飯田幸彦・千葉恒夫・山崎郁子・柏崎哲・土崎常男 1995. 茨城県における麦類の土壤伝染性ウイルス病の発生生態と防除に関する研究 ー第 1 報 病原ウイルスの系統と発生形態ー. *茨城農総センター農研研報* 2:1-52.
- Okada, Y., S. Kashiwazaki, R. Kanatani, S. Arai and K. Ito 2003. Effects of barley yellow mosaic disease resistant gene *rym1* on the infection by strains of Barley yellow mosaic virus and Barley mild mosaic virus. *Theor. Appl. Genet.* 106:181-189.
- Okada, Y., T. Kato, M. Yoshida and A. Saito 2008. Identification of Japanese strains of Barley yellow mosaic virus by RT-PCR/RFLP analysis of the coat protein-coding region. *JGPP*. 74:258-263.
- 大兼善三郎・手塚徳弥・手塚神浩・本郷武・中山喜一・斎藤司朗 1988. 二条大麦のオオムギ縮萎縮病防除. *栃木農試研報* 35:77-86.
- 太田久稔・安東郁男・吉田智彦 2006. 関東系統の近縁係数によるイネ育成系統の分類および葉いもち, 食味との関連. *日作紀* 75:159-164.
- 大里久美・吉田智彦 1996. イネ育成系統の近縁係数およびその食味との関係. *育種* 46:295-301.
- Pellio, B., S. Streng, E. Bauer, N. Stein, D. Perovic, A. Schiemann, W. Friedt, F. Ordon and A. Graner 2005. High-resolution mapping of the *Rym4/Rym5* locus conferring resistance to the barley yellow mosaic virus complex (BaMMV, BaYMV, BaYMV-2) in barley (*Hordeum vulgare* ssp. *vulgare* L.). *Theor. Appl. Genet.* 110:283-293.
- Saeki, K., C. Miyazaki, N. Hirota, A. Saito, K. Ito and T. Konishi 1999. RFLP mapping of BaYMV resistance gene *rym3* in barley (*Hordeum vulgare*). *Theor. Appl. Genet.* 99:727-732.
- 佐々木昭博 1990. 作物育種と食品加工[4] ビールオオムギ. *農及園* 65:537-542.
- 佐藤暁子・末永一博・高田寛之・川口数美 1992a. 異なる土壌におけるコムギの生育と収量. *日作紀* 61:349-355.
- 佐藤暁子・小柳敦史・末永一博・渡辺修・川口数美・江口久夫 1992b. コムギ品質におよぼす土壌と窒素, リン酸施肥の影響. *日作紀* 61:616-622.
- 佐藤弘一・吉田智彦 2007. 水稲福島県育成系統の家系分析. *日作紀* 76:238-244.
- 関和孝博・大塚勝・常見謙史・加島典子・小田俊介 2001. 二条大麦スカイゴールド」の溶け特性. *栃木農試研報* 50:19-25.
- Seko, H. 1987. Development of a two-rowed malting barley cultivar resistant to Barley Mosaic. *TARC*. 21(3):162-165.

- (社) 農林水産技術情報協会 1980. 大麦種苗特性分類調査基準. (社) 農林水産技術情報協会, 東京. 1-77.
- Shepherd, W. and A.K.M.R. Islam 1987. Cytogenetic manipulation of barley chromosomes in a wheat background. *Barley Genetics* V:375-387.
- 重宗明子・三浦清之・笹原英樹・後藤明俊・吉田智彦 2006. 北陸研究センターで育成した水稲品種系統の家系分析. *日作紀* 75:153-158.
- 下野勝昭 1990. 多湿黒ボク土の土壌 pH が畑作物の生育, 収量に及ぼす影響. *土肥誌* 61:8-15.
- 早乙女和彦・吉田久・小林俊一・天谷正行 1990. エステラーゼ同位酵素遺伝子型によるオオムギ縞萎縮病抵抗性系統の選抜. *栃木農試研告* 37:1-9.
- 五月女敏範・早乙女和彦・河田尚之・福田暎・石川直幸・宮川三郎・加藤常夫・神永明・佐々木昭博・大塚勝・吉田久・桐生光広・伊藤浩・小林俊一・徳江紀子・天谷正行・瀬古秀文・藤井敏男・田谷省三・小玉雅晴 1996. オオムギ縞萎縮病抵抗性遺伝子 *ym3* を持つ極高品質, 多収ビール大麦系統「関東二条 29 号」. *栃木農試研告* 44:91-108.
- 五月女敏範・早乙女和彦・河田尚之・前岡庸介・井上興 1997. BaYMV III 型系統の拡大及び抵抗性遺伝子 *ym3* を持つ品種の罹病について. *育種* 47(別 1):279.
- 五月女敏範・河田尚之・吉田智彦 2008. エステラーゼアイソザイムを利用したオオムギ縞萎縮病抵抗性遺伝子の集積法. *日作紀* 77:174-182.
- 五月女敏範・大関美香・小林俊一・吉田智彦 2009. 栃木県育成ビール醸造用二条オオムギ品種の家系分析. *日作紀* 78:344-355.
- 五月女敏範・河田尚之・加藤常夫・関和孝博・西川尚志・夏秋知英・木村晃司・前岡庸介・長嶺敬・小林俊一・和田義春・吉田智彦 2010. 栃木県におけるオオムギ縞萎縮ウイルスの発生状況と新たに見出されたオオムギ縞萎縮ウイルス系統. *日作紀* 79:29-36.
- 五月女敏範・藤田正好・郡司陽・小川雄大・白石淳夫・星一好・小林俊一・吉田智彦 栃木県那須地方におけるビールオオムギ生産の課題と高品質安定生産に向けた取り組み. *日作紀* (投稿中).
- 五月女敏範・大関美香・春山直人・長嶺敬・石川直幸・高山敏之・渡邊浩久・沖山毅 2010. β -グルカンを欠失したビールオオムギの開発. *育種研究* 60(別 1): (印刷中).
- Stevens, M.A. and C.M. Rick 1986. Genetics and Breeding. In J. Atherton and G. Rudich (eds.). *The Tomato Crop. A scientific basis for improvement.* Chapman and Hall, New York. 35-109.
- Stracke, S., T. Presterl, N. Stein, D. Perovic, F. Ordon and A. Graner 2007. Effects of introgression and recombination on haplotype structure and linkage disequilibrium surrounding a locus encoding bymovirus resistance in barley. *Genetics* 175:805-817.
- 高橋隆平・林二郎・山本秀夫・守屋勇・平尾忠三 1966. 大麦の縞萎縮病抵抗性に関する研究. 第 1 報 二条大麦及び六条大麦品種の抵抗性検定試験. *農学研究* 51:135-152.
- 高橋隆平・林二郎・守屋勇・平尾忠三 1970. 大麦の縞萎縮病抵抗性に関する研究. 第 2 報 品種の抵抗性程度と被害との関係ならびに異なる常発地の病原ウイルスに対する品種反応比較. *農学研究* 53:153-165.
- 高橋隆平 1980. ビール用大麦品種ゴールデンメロンの由来. *育種* 30:272-275.
- Tamura, K., J. Dudley, M. Nei and S. Kumar 2007. MEGA4: Molecular evolutionary genetics analysis (MEGA) Software Version 4.0. *Mol. Biol. Evol.* 24:1596-1599.
- 田中明・早川嘉彦 1974. 耐酸性の作物種間差 第 1 報 耐低 pH 生の種間差. *土肥誌* 45:561-570.
- 谷口義則・小田俊介・常見謙史・大塚勝・関和孝博・糸川晃伸・山口昌宏・五月女敏範・福田暎・早乙女和彦・河田尚之・石川直幸・加藤常夫・加島典子・宮川三郎・神永明・小玉雅晴・佐々木昭博・仲田聡・徳江紀子・桐生光広・野澤清一・佐藤圭一・伊藤浩 2001. 二条大麦新品種「スカイゴールデン」の育成(二条大麦農林 20 号). *栃木農試研報* 50:1-18.
- 寺村好司・小山内英一・伏田均・河西隆喜 1990. ビール大麦新品種なす二条の育成とその縞萎縮病抵抗性について. *育種* 40(別 2):174-175.
- 栃木県農業試験場 2004. 新技術シリーズ {ビール大麦「スカイゴールデン」の高品質栽培技術}. 栃木県農業試験場, 1-16.
- 栃木県農業試験場 2009. (農業試験場のプロジェクト X) http://agrinet.pref.tochigi.lg.jp/81_area-desaki/10_nousi/08_projectx/g31_project_x/prox/prox02.pdf (2009/7/29 閲覧).
- 栃木県農業試験場栃木分場 1998. 品種改良のためのビール麦品質検定法 第 3 版. 栃木県農業試験場, 栃木

- 県.1-60.
- 栃木県農業試験場栃木分場 2006. 栃木県のビール麦育種 50 年史. 栃木県農業試験場, 栃木県. 1-82.
- 栃木県農務部 1985. 麦の生産振興方針 (昭和 61 年産). 栃木県農務部, 栃木県. 1-86.
- 栃木県農務部 1986. 麦の生産振興方針 (昭和 62 年産). 栃木県農務部, 栃木県. 1-105.
- 栃木県農務部 1987. 麦作推進資料 (昭和 62 年度). 栃木県農務部, 栃木県. 1-113.
- 栃木県農務部 1988. 麦作推進資料 (昭和 63 年度). 栃木県農務部, 栃木県. 1-107.
- 栃木県農務部 1989. 麦作推進資料 (平成元年度). 栃木県農務部, 栃木県. 1-110.
- 栃木県農務部 1990. 麦作推進資料 (平成 2 年度). 栃木県農務部, 栃木県. 1-115.
- 栃木県農務部 1991. 麦作推進資料 (平成 3 年度). 栃木県農務部, 栃木県. 1-109.
- 栃木県農務部 1992. 麦作推進資料 (平成 4 年度). 栃木県農務部, 栃木県. 1-118.
- 栃木県農務部 1993. 麦作推進資料 (平成 5 年度). 栃木県農務部, 栃木県. 1-109.
- 栃木県農務部 1994. 麦作推進資料 (平成 7 年産). 栃木県農務部, 栃木県. 1-105.
- 栃木県農務部 1995. 麦作推進資料 (平成 8 年産). 栃木県農務部, 栃木県. 1-114.
- 栃木県農務部 1996. 麦作推進資料 (平成 9 年産). 栃木県農務部, 栃木県. 1-116.
- 栃木県農務部 1997. 麦作推進資料 (平成 10 年産). 栃木県農務部, 栃木県. 1-114.
- 栃木県農務部 1998. 麦作推進資料 (平成 11 年産). 栃木県農務部, 栃木県. 1-113.
- 栃木県農務部 1999. 麦作推進資料 (平成 12 年産). 栃木県農務部, 栃木県. 1-109.
- 栃木県農務部 2001. 麦作推進資料 (平成 13 年産). 栃木県農務部, 栃木県. 1-115.
- 栃木県農務部 2002. 麦作推進資料 (平成 14 年産). 栃木県農務部, 栃木県. 1-118.
- 栃木県農務部 2003. 麦作推進資料 (平成 15 年産). 栃木県農務部, 栃木県. 1-104.
- 栃木県農務部 2003. 麦作推進資料 (平成 16 年産). 栃木県農務部, 栃木県. 1-95.
- 栃木県農務部 2005. 麦作推進資料 (平成 17 年産). 栃木県農務部, 栃木県. 1-77.
- 栃木県農政部 2009. 平成 21 年度 稲麦大豆等生産推進資料. 栃木県農政部, 栃木県. 1-181.
- 遠山明・草葉敏彦 1970. オオムギ縮萎病の伝染について:第 2 報 *Polymyxa graminis* Led. による媒介. 日植病報 36:223-229.
- 戸嶋郁子・渡辺健・飯田幸彦 1991. 茨城県における大麦縮萎病 III 型系統発生実態調査 一 下館市小川地区におけるミサトゴールデンの発病状況. 関東東山病虫害研報 38:35-36.
- 鶴政夫・河田尚之・堤忠宏・北原操一・藤井敏男・鈴木崇之・佐々木昭博 1990. 二条オオムギ新品種「ニシノチカラ」について. 九州農試場報告 26:167-186.
- 鶴政夫・佐々木昭博・吉田智彦・田谷省三・前田浩敬・桐山毅・池田和彰 1993. 二条大麦新品種「イシユクシラズ」について. 九州農試場報告 22:527-552.
- 内村要介・古庄雅彦・吉田智彦 2004. 二条オオムギ品種における近縁係数と分子マーカーから推定した遺伝距離との関係. 日作紀 73:410-415.
- 氏原和人・藤井敏男・野沢清一・関口忠男・千葉恒夫 1984. 大麦縮萎病とビールムギ品質. 育雑 42(別 1):302-303.
- 宇杉富雄・桑原達雄・土崎常男 1984. 酵素結合抗体法 (ELISA) によるオオムギ縮萎病, コムギ縮萎病およびムギ類萎縮病の血清学的診断. 日植病報. 50:63-68.
- 宇杉富雄・柏崎哲・土崎常男 1985. オオムギ縮萎病ウイルス系統について. 関東東山病虫害研年報. 32:53-55.
- 若杉晃介・藤森新作 2008. 圃場面傾斜化が田面排水や地表灌漑に及ぼす影響農業農村工学会論文集 255:51-56.
- 渡邊浩久・望月哲也・大関美香・春山直人・五月女敏範・沖山毅・長嶺敬 2008. 極低ポリフェノール大麦「関東二条 41 号」の精麦品質および農業特性. 日作紀 77:162-163.
- 渡辺健・小川圭・飯田幸彦・千葉恒夫・山崎郁子・上田康郎 1995. 茨城県における麦類の土壌伝染性ウイルス病の発生生態と防除に関する研究 一第 2 報 被害と防除法一. 茨城農総セ農研報 2:53-100.
- Weeden, N.F., R. Provvidenti and G.A. Marx, 1984. An isozyme marker for resistance to bean yellow mosaic virus in *Pisum sativum*. J. Heredity 75:411-412
- 山口恵美子・糸川晃伸・谷口義則・山口昌宏・渡辺修孝・関和孝博・加藤常夫 2005. ビール大麦「スカイゴールデン」の高品質安定栽培法. 栃木農試研報 53:35-41.

- 山口昌宏・谷口義則・関和孝博・大塚勝・五月女敏範・小田俊介 2002. オオムギ縞萎縮病がビール大麦の収量及び麦芽品質に及ぼす影響. 栃木農試研報 51:1-8.
- 横尾政雄 2005. 育種機関別にみた 1956 年～2000 年の主要水稲品種の変遷. 農業技術 60:281-284.
- 吉田久・田谷省三・福田暎・伊藤浩・早乙女和彦・天谷正行・桐生光広・加藤常夫・瀬古秀文・氏原和人・北原操一・武田元吉・野中舜二・川口敷美・小林俊一・藤井敏男・小松田美津留・関口忠男・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 1988. 二条大麦新品種ミカモゴールドンの育成(二条大麦農林 13 号). 栃木農試研報 35:31-50.
- 吉田智彦 2004. Windows による作物品種の家系分析用 Prolog プログラムの作成. 日作関東支報 19:54-55.

謝 辞

本研究をとりまとめるにあたり、宇都宮大学農学部 吉田智彦 教授に懇切丁寧なご指導、優しく心温まる心配り、ならびに厳しい激励を賜りました。心から感謝申し上げます。

本論文のご校閲を賜りました東京農工大学農学部 平澤正 教授、茨城大学農学部 新田洋司 教授、宇都宮大学農学部 和田義春 准教授、同 高橋行継 准教授には、心より厚くお礼を申し上げます。

本研究の遂行にあたり、羅針盤のごとく適切なアドバイス、オオムギ育種のノウハウについてご教授をいただくと共に心の支えとなっただきました河田尚之氏に、尊敬の意を表すると共に深くお礼を申し上げます。

スカイゴールデン育成にあたり、石川直幸氏、佐々木昭博氏、谷口義則氏、小田俊介氏、宮川三郎氏、加藤常夫氏、早乙女和彦氏、福田暎氏、野澤清一氏、仲田聡氏、山口昌宏氏、佐藤圭一氏、大塚勝氏、小玉雅晴氏、関和孝博氏、桐生光広氏、徳江紀子氏、神永明氏、加島典子氏、伊藤浩氏、糸川晃伸氏、常見謙史氏、石川武氏、館沼伸一氏、徳原裕幸氏、大塚孝氏、星野洋子氏、小島保氏ならびに栃木県農業試験場栃木分場のパート職員の皆様には、多大なるご尽力をいただきました。皆様の力無くしては目標としたスカイゴールデンの育成はできなかつたものと深く感謝を申し上げます。

スカイゴールデンの普及指導ならびに大麦縞萎縮病の調査では、各農業振興事務所経営普及部の作物関係農業改良普及員の皆様、栃木県環境指導センターの皆様、山

口県農林総合技術センター木村晃司氏、前岡庸介氏、宇都宮大学バイオサイエンス教育研究センター西川尚志准教授、夏秋知英教授、生産団体の関係者に多大なるご支援をいただきました。那須地方における各種調査、研究では、星一好氏、藤田正好氏、郡司陽氏、白石淳夫氏、小川雄大氏、大房一裕氏、菊池清人氏、高橋聖恵氏、小貫拓実氏、相馬亨氏、畠田勝久氏、小室徳宝氏、JA などの採種部会の皆様には、絶大なご協力とご助言をいただきました。ビール酒造組合ならびにビール会社の皆様には、スカイゴールドの育成ならびに生産にあたり、的確なアドバイスとあたたかい見守りをいただきました。ここに記して心からお礼を申し上げます。

最後に、本論文を作成するきっかけを作っていた藤井敏男博士、作成中極めて多忙なビールオオムギの育種業務を担って支えていただいた大関美香氏、長嶺敬氏、春山直人氏、小林俊一博士、そして、理解し支えてくれた妻と子供たちに深謝いたします。

