

高水分小麦を対象とする収穫・乾燥技術の高度化に関する研究

2007年1月

金井源太

高水分小麦を対象とする収穫・乾燥技術の高度化に関する研究

筑波大学大学院
生命環境科学研究科
国際地縁技術開発科学専攻
博士（農学）学位論文

金 井 源 太

-目次-

第1章 緒論	1
1.1 はじめに	1
1.1.1 小麦生産の現状と課題	1
1.1.2 小麦の高品質化へ向けた取組み	3
1.2 小麦の収穫・乾燥に関する慣行技術及び既往の研究	4
1.2.1 小麦の収穫時期	4
1.2.2 小麦の収穫方法	5
1.2.3 小麦の乾燥方法	8
1.3 研究目的	9
第2章 高水分小麦の収穫・乾燥時における品質劣化低減策	10
2.1 自脱コンバインによる高水分小麦収穫試験	10
2.1.1 はじめに	10
2.1.2 試験方法	10
1) 収穫試験	10
(1) 作業条件	10
(2) 作業精度の測定	12
2) 乾燥試験	12
3) 品質分析	13
2.1.3 結果及び考察	13
1) 収穫試験	13
(1) 作物条件及び気象条件の推移	13
(2) 作業条件の作業精度への影響	15
2) 品質分析	17
(1) 原麦品質	17
(2) 加工品質	20
a 製粉性	20
b 粉色	20
c フォーリングナンバー	25
d ラピッドビスコアライザー (RVA)による 糊化特性試験	27
e アミログラム	30
f ファリノグラム	32
g エキステンソグラム	35
3) 総合考察	35

2.2	普通コンバインによる高水分小麦収穫試験	36
2.2.1	はじめに	36
2.2.2	試験方法	36
	1) 収穫試験	36
	(1) 作業条件	36
	(2) 作業精度の測定	38
	2) 乾燥試験	39
	3) 品質分析	39
2.2.3	結果及び考察	40
	1) 収穫試験	40
	(1) 作物条件及び気象条件の推移	40
	(2) 作業条件の作業精度への影響	40
	2) 品質分析	45
	(1) 原麦品質	45
	(2) 加工品質	45
	a 製粉性	45
	b 粉色	45
	c アミログラム	50
	d ラピッドビスコアナライザーによる糊化特性試験	50
	e ファリノグラム	52
	f エキステンソグラム	54
	3) 総合考察	54
2.3	まとめ	56
第3章 形状特性に基づく小麦の水分選別の可能性		58
3.1	粒厚と水分の関係	58
3.1.1	はじめに	58
3.1.2	試験方法	59
	1) 乾燥前後の粒厚分布の測定	59
	2) 粒厚毎の単粒水分分布の測定	59
	3) 回転式選別機を用いた粒厚に基づく水分選別試験	59
3.1.3	結果及び考察	61
	1) 乾燥前後の粒厚分布の変化	61
	2) 粒厚毎の単粒水分分布	63
	3) 回転式選別機を用いた粒厚に基づく水分選別試験	65
3.2	粒厚選別の原麦成分への影響	71
3.2.1	はじめに	71
3.2.2	試験方法	71
3.2.3	結果及び考察	71
3.3	まとめ	73

第4章 水分選別小麦の乾燥条件による小麦粉品質への影響	76
4.1 はじめに	76
4.2 試験方法	76
4.3 結果及び考察	77
4.3.1 水分	77
4.3.2 粒色	79
4.3.3 粉色	79
4.3.4 澱粉品質のラピッドビスコアナライザーによる検討	85
4.3.5 総合考察	87
1) 粒厚選別による水分選別と品質	87
2) 乾燥条件と品質	87
3) 高水分小麦乾燥の劣化防止策	89
4.4 まとめ	89
第5章 循環式乾燥機を用いた水分選別乾燥の小麦粉品質への影響	91
5.1 はじめに	91
5.2 試験方法	91
5.3 結果及び考察	93
5.3.1 乾燥試験の経過	93
5.3.2 品質	96
1) 粉色及び成分品質	96
2) 生地特性	96
(1) アミログラム	96
(2) ファリノグラム	99
(3) エクステンソグラム	99
(4) 生地特性への影響について	102
5.3.3 総合考察	102
5.4 まとめ	103
第6章 結 論	104
Summary	111
謝 辞	117
参考文献	118

第1章 緒論

1.1 はじめに

1.1.1 小麦生産の現状と課題

小麦を含む麦類が属するイネ科作物は約1億3,500万年前に地上に現れた。イネが高温多湿地帯に適応したのに対して麦類は冷温地帯に適応し、人類は約10,000年～15,000年前頃から小麦の栽培を始めたと推定される。小麦は比較的丈夫で、様々な環境条件下で栽培が容易であることから、地上の人間が住む殆どの地域で生産が行われている。今日では世界中で6億2700万tの小麦が生産されており、主にパンやビスケット類として消費されている。また、国内では「うどん」「そうめん」などの伝統食の他にパン類、ビスケット類、スパゲッティ等として消費され、年間の需要量は約600万tであり(図1-1)、そのうちの13～15%程度を国産の小麦が占めている(諫山忠幸, 1982, 栗原ら, 2000, 農林水産省, 2006)。

このように幅広く栽培されている小麦であるが、使用目的に応じ高品質な生産を行うためには、良質な土壌、生育期の適切な降雨、収穫期の乾燥気候という環境条件と共に、適切な品種、栽培、収穫・乾燥が不可欠である。品種や栽培、収穫・乾燥技術は各生産地域の特性に応じて工夫がなされているが、環境条件については、北米地域などでは気候等が好ましいため安定的な生産が可能なものの、アルゼンチンやオーストラリアなどは干魃や集中豪雨などで全滅に近い被害が出ることもあり、生産が不安定な要因となっている。

気候条件に関しては、日本国内の小麦生産地域は、広範な地域で収穫時期が梅雨と重なるため、小麦生産にとっては過酷な条件であり、降雨による品質劣化が大きな問題となっている。収穫時期の降雨は麺加工にとって致命的な澱粉品質の劣化、所謂低アミロ化(アミログラム最高粘度の低下)を引起すため、

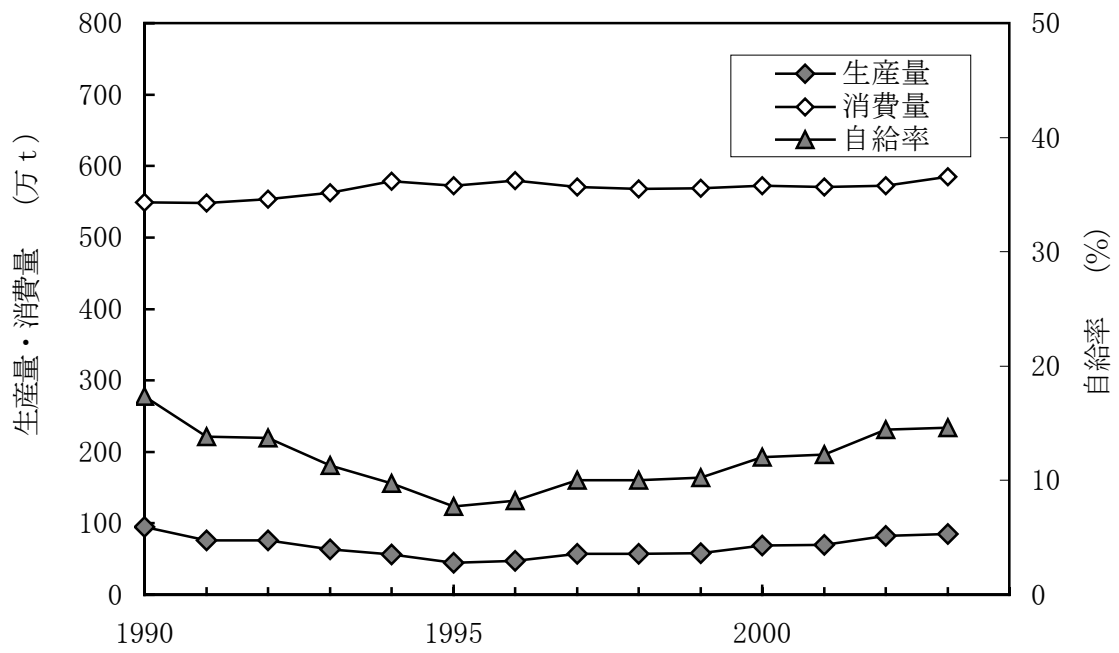


図1-1 小麦の国内生産量と消費量および自給率の推移

品質劣化の回避策としてやむを得ず 30～35%を超える高水分条件で早期収穫されることも多い。しかし、小麦の早期収穫においては、粒が未成熟であること、高水分粒は膨軟であるため収穫時に損傷を受けやすいこと、また乾燥の困難さによる品質劣化等が問題となっている。

1.1.2 小麦の高品質化へ向けた取組み

現在、HACCP による食の安全に関する基準やスローフード運動に見られる食品の背景や付加価値の重視等、飢餓から解放された先進諸国においては、食の品質を重視する潮流がある。

特に日本国内においては消費者の品質への要求水準は高く、必然的に国産小麦においても製粉業者等の実需者からの要求水準も高くなるという現状がある。その結果、平成 14 年（2002 年）に「食料・農業・農村基本計画」（平成 12 年閣議決定）で定められた目標作付面積 18 万 ha、単収 436kg/10a、生産量 80 万 t を達成しているにも関わらず、現実には粉色、デンプン品質等の製粉適性、加工適性の問題から国産小麦は実需者に敬遠され基準価格を下回るものも多い（星野，2002）。現場の農家にとっても平成 19 年度（2007 年度）からは政府無制限買入れ制度が廃止され民間流通への完全移行が行われ、小麦の品質評価基準のタンパク質含量、灰分、容積重、フォーリングナンバーについて許容範囲が狭くなる見通しであり、品質の向上は重要な課題といえる。

小麦の高品質化に関しては、品種改良による手法、栽培管理による手法などがあり、麵用輸入小麦の筆頭であるオーストラリア産小麦 (Australian Standard White) 並の品質を目標に品種改良、栽培管理の面からの対応もなされているが、品種改良による高品質化は長期に渡る試験が必要であり、栽培管理に関しては地域特性によるところも大きい。そのため、これらの方法は収穫時期の降雨による品質劣化の問題に対しては決定的な解決策とはなりにくい。そのため、収穫時期の降雨により高水分となってしまった小麦についても品質劣

化を最低限に抑えて収穫・乾燥を行えるよう技術の高度化が望まれている。

1.2 小麦の収穫・乾燥に関する慣行技術及び既往の研究

1.2.1 小麦の収穫時期

一般的に麦類では外観上，完全に褐色になり，粒が十分に硬化して成熟期を迎える。小麦では，年次や品種，地域による変動はあるものの，出穂期（全体の半分が出穂した時期）から 35～40 日程度で粒重の増加はほぼ止り，出穂後 45～50 日で成熟する。しかし，成熟期移行の遭雨により穀粒水分が上昇すると品質低下に繋がるため，早期に収穫して品質を維持したいとの要望も強い。そのため，収穫時期と小麦の品質に関する研究がなされている。

早期収穫の小麦粉品質については，供試品種，栽培年次に関らず，穀粒水分約 40%で最大粒重となるまでは向上するものの，以降は大きな向上は見られないとの報告(松崎ら，1997a,1997b)がある。また，パン用小麦の製パン特性に関して穀粒水分 42.1%で収穫した場合には，小麦生地の特性を示す指標の 1 つであるファリノグラムのバロリメーターバリュー(VV)がやや低下したものの，その他の生地特性，パン比容積は穀粒水分 29.1%で収穫した場合とほぼ同様であったとの報告(佐藤ら，1999)等がある。また，星野ら(1992)は穀粒水分 20～35%の収穫試験を行い，低水分収穫の方が灰分，製粉性の面から優れているとしており，平野ら(1969)は成熟期 4 日前から 4～5 日後までは収量，品質的にもあまり問題がないとしながらも，コンバイン収穫においては機械的な損傷や収穫後の乾燥の問題から穀粒水分が 30%以下まで低下した比較的遅めの収穫が良いとしている。

北海道では穀粒水分 38～43%の高水分小麦について，汎用コンバインを用いて収穫試験，及び縦型循環式乾燥機を用いて乾燥試験が行われており，水分 30%以下では収穫時の穀粒損失の減少が見られ，水分 40%を境に包皮粒，ふ

(麩), 損傷粒が増減したと報告されている(北海道立中央農業試験場, 2001)。また, 早期収穫, 穂発芽回避のため地干しコンバイン収穫について検討がなされ, コンバインへの拾上げ装置の付加, 刈倒し作業の増加等の難点はあるが, 穀粒水分の推移から乾燥促進及び降雨害の軽減が示された(岡崎ら, 1982)。九州では高水分小麦の自脱コンバイン収穫に関して, 穀粒水分 30%以上での収穫は粉色が悪く, 灰分の混入も多いとの報告がある(富樫, 1994)。

バインダ収穫試料を密閉箱内に設置し, 一定時間毎にミストを噴射する実験から, 収穫期の降雨により α -アミラーゼ活性が上昇しアミログラム最高粘度が低下したとの報告(黒田ら, 1983), 降雨後にフォーリングナンバー, 容積重が低下(本田ら, 2001)したとの報告等, 降雨の品質, 特に加工適性への悪影響が指摘されている。

なお, 小麦を主要作物とする北米, 豪州等では気候が麦作に適しており, 十分に乾燥が進んだ水分 10% ~ 20% 台にて収穫可能であるため, 国内産小麦のような高水分収穫による問題は生じることは少ないが, 大規模生産のため長期間に渡る収穫作業の初期と後期との水分差に起因するサイロ内での水分ムラや, 集中豪雨による高水分化はいずれの生産地においても問題となっている(McNeill, S.ら, 発表年不明, 長尾精一, 1998)。

以上のように我が国の小麦については高水分収穫をせざるを得ない現状があり, 現実的にどの程度の水分であれば収穫可能であるのか, また, その際のだのような収穫方法や乾燥条件ならば品質の劣化を抑えられるのかについての情報が必要とされている。

1.2.2 小麦の収穫方法

小麦の収穫に用いる機械にはバインダー及びコンバインがあり, コンバインは大きく普通コンバインと自脱コンバインに分類できる。写真 1-3-1 にバインダー, 自脱コンバイン, 普通コンバインを示す。



a. バインダ



(i) 正面



(ii) 脱穀部

b. 自脱コンバイン



(i) 全景



(ii) 脱穀部

c. 普通コンバイン

写真 1-3-1 小麦の収穫に用いる機械

バインダーは刈取り結束する機械で、収穫後は束の状態です架干し乾燥を行い、脱穀機にて脱穀し、乾燥機にて仕上げ乾燥を行う。現在では、バインダーによる収穫作業は、コンバインの導入の難しい小規模栽培や中山間地などに限られている。

コンバインは収穫と同時に脱穀を行う機械で、収穫後に脱穀された穀粒を乾燥機に投入し、乾燥を行う。コンバインは脱穀方式によって、自脱コンバインと普通コンバインに分類され、自脱コンバインでは小麦の穂の部分脱穀部のこぎ胴(扱胴)を通過するが、普通コンバインではワラごと脱穀部を通過する。

自脱コンバインは稲作用にバインダと脱穀機を組合せて開発された我が国独自の機械で、損傷率や損失率が少なく作業精度が良いという特徴がある。また、稲作用の機械であるため普及率が高く、国内の農家の多くが所有しているコンバインはこのタイプである。

普通コンバインは大規模圃場での麦類の収穫に主に外国で用いられ、作業能率が高いのが特徴である。しかし、最近では国内農業の実状にあったものも開発され大規模に畑作を行う地域や豆類、麦類の汎用利用など導入が進んでいる。ただし、一般的に作業精度は自脱コンバインのほうが高く、稲作への導入はあまりされていない。

収穫方式と品質に関しては、高水分小麦は損傷が生じ易いため収穫作業にはコンバインよりバインダが適するとされている。また、コンバイン収穫では自脱コンバインより汎用コンバインが適するとされ、悪天候年や種子採取の場合、補完的に穂刈・予乾体系を導入することも提案されている(川崎ら、1985)。その他、モア地干しコンバイン収穫方式の有益性についての報告(加藤ら1983)、汎用コンバインのスクリュウ式とツース式のこぎ歯(扱歯)速度の適切な速度についてビール大麦を対象にした報告(小野正則ら、1992)、その他、北米でこぎ胴回転数を落した方が穀粒損傷程度が軽いとの報告(McNeill, S.ら、発表年不

明),ニュージーランドで小麦,ピーナツをコンバイン収穫する際のこぎ胴回転速度と障害の関係についてこぎ胴回転速度が速いと品質劣化を引き起すとの報告(King et al.,1960),がある。

また,農業機械化研究所においてはコンバインの型式検査の実施主体ということもあり,コンバイン収穫に関する研究が数多くなされてきた(江崎,1968)。収穫時の穀粒損傷に関しても,こぎ胴回転数及び処理量とこぎ残し粒(扱残粒),損傷粒の発生状況についての詳細な検討がなされてきた(江崎ら,1972)。しかし,収穫条件設定において対象作物が水稻中心であること,また,型式検査では基本的に適期収穫であることから,高水分小麦収穫に関する試験は少ない。

各地の農業研究センター等においても高水分小麦に関して収穫時期,収穫方法,収穫機の改良等の検討がなされてきたが(佐々木,1982a,1982b,下名迫ら,1989),収穫時期の決定に必要な時間的に連続した小麦品質のデータは少ない。また,最近でも収穫試験の実施例は多いとは言えず,コンバインの高水分小麦収穫能力について研究が必要とされている。

1.2.3 小麦の乾燥方法

穀物乾燥機は穀物の取扱方式から回分式と連続式に分けられ,回分式は静置式(平型)乾燥機と循環式乾燥機に分類できる。静置式は穀物を移動させずにバーナーの熱風を通過させるもので,構造が簡単で安価であり汎用性が高いことが特徴であるが,乾燥むらや大量の処理には向かないなどの問題もある。

循環式乾燥機は乾燥機の中で穀物を循環させながら乾燥を行う方式で,多くのものは熱風が通る乾燥部と貯留による水分均質化を図るテンパリング部から構成されており,テンパリング乾燥機とも呼ばれる。個別の農家で所有できる小型のものからライスセンター等の共同乾燥施設で用いる大型のものまである。

連続式乾燥機は多数のテンパリングタンクを備えた乾燥施設で利用され,大量の連続処理でなければ乾燥能率が低下するので農家の組織化が前提となる。

一般的に循環式の穀物乾燥機は麦では穀粒水分 30% 以下での使用を想定しており，高水分小麦の適切な乾燥は困難である。そのため，多段落下型の乾燥機では高水分時には風量比を増加させる必要があるとの報告（川崎ら，1981）や，除湿乾燥や流動層乾燥機，結露を防止するための 2 重壁乾燥機等の高水分小麦に対応できる乾燥機に関する研究（川崎ら，1985，関，2005）もなされているが，装置の煩雑さから高価になりがちであり，製品化や導入は進まず，依然として高水分小麦の乾燥には困難が伴っている。現行のシステムを大きく変更せずに実施可能な高水分小麦対応の乾燥方法が求められているといえる。

1.4 研究目的

以上のような背景から，本研究では，高品質小麦の収穫及び乾燥技術の高度化を図るため，梅雨等の気候条件によりやむを得ず高水分条件にて収穫する場合における作業時の品質劣化低減策，及び高水分小麦に対応した効率的かつ製品の高品質化を可能とする新たな乾燥方式の提案を行うことを目的とし，以下の観点から研究を行った。

1) 主に高水分小麦の収穫作業時の品質劣化低減策の策定に向け，自脱コンバイン及び普通コンバインを用いて，収穫時期，収穫作業条件及び乾燥条件の小麦粉品質への影響を検討した。

2) 高水分小麦の粒厚は水分に直接影響されることに着目し，粒厚選別による水分別乾燥技術について，選別粒厚の決定に必要な粒厚と水分の関係の把握及び粒厚選別と品質について検討を行った。

3) 粒厚選別による水分選別乾燥について，乾燥温度，通風条件等の乾燥条件が品質に与える影響について検討した。

4) 回転式選別機を利用した水分選別及び実際の循環式乾燥機を用いて実験的検討を行い，本乾燥技術の実用面からの特徴を明らかにした。

第2章 高水分小麦の収穫・乾燥時における品質劣化低減策

2.1 自脱コンバインによる高水分小麦収穫試験

2.1.1 はじめに

自脱コンバインは稲の収穫用に開発され、国内に広く普及しており、水田転作小麦や稲作との輪作による小麦生産の現場などで多く用いられている。しかし、小麦に関しては適期水分での収穫を想定した設計であり、高水分小麦収穫時の作業の指針は無く、コンバイン作業においては作業者の経験に依るところが大きい。

そこで本項では自脱コンバインによる高水分小麦収穫について、収穫時期や穀物水分条件などの作物条件及びコンバイン設定などの作業条件と品質劣化程度との関係を明らかにし、品質を出来るだけ劣化させずに収穫作業を行うための指針の提出を目的とした。なお、試験には市販のコンバインを無改造で供試し、高水分期から収穫適期とされる時期まで連続的なデータ収集を行った。

2.1.2 試験方法

1) 収穫試験

(1) 作業条件

収穫試験は、茨城県つくば市の中央農業総合研究センター実験圃場において、標準的な栽培を行った小麦（農林61号）について、出穂後45～57日（2002年6月5～17日）の期間に6日間に分けて行った（写真2-1-1）。

収穫には2条刈自脱コンバイン（三菱農機製VM2, 7.72kW, こぎ(扱)胴径410mm）を用いた。こぎ胴回転数2段階、作業速度3段階の合計6作業条件を設定した。こぎ胴には変速装置が無いため、エンジンの回転数によって通常設定のこぎ胴普通回転（エンジン回転数2700rpm, こぎ胴回転数470rpm, こぎ(扱)歯先端周速度13.7m/s）及び種子用穀粒採取設定のこぎ胴低速回転（エンジン回転数



写真 2-1-1 自脱コンバイン収穫試験

2400rpm, こぎ胴回転数 418rpm, こぎ歯先端周速度 12.6m/s)の2段階を設定した。作業速度については, 通常設定時は普通速 0.44m/s, 中低速 0.35m/s, 低速 0.26m/s, 種子用穀粒採取設定時は普通速 0.40m/s, 中低速 0.31m/s, 低速 0.24m/s の各々3段階を設定した。また, バインダ収穫区を設定し, 側窓を開放したハウス内にて, 収穫後3週間程度, 架干乾燥を行った後, 試験用脱穀機(こぎ胴径 360mm, 回転数 593rpm, こぎ歯先端周速度 14.6m/s)にて脱穀した。

(2) 作業精度の測定

収穫試験は農機具型式検査(農業機械化研究所, 1984)に準じ, 15mの試験区にて, 作業速度, 穀粒口流量, 排塵口流量, 頭部損失, 脱穀選別損失, 穀粒口の組成(完全粒, 損傷粒, 屑)等の作業精度について測定を行った。穀粒口試料 600gについて, 外観品質上, 欠け, 割れ, つぶれ等の物理的損傷のある粒は損傷粒とした。包皮粒は粒と皮を分離後, 損傷の無いものは完全粒, 皮はワラ屑に分類した。屑粒については乾燥後の試料を食糧庁型縦目篩(2.0mm)にて選別, 測定した。千粒重(水分 13.5%換算)は, 穀粒口試料 600g中から 3000粒程度の質量を測定し, 算定した。

2) 乾燥試験

乾燥試験は, 常温乾燥区と加熱乾燥区を設定して実施した。常温乾燥区では, 静置式の通風乾燥機を用いて常温通風乾燥を行った。加熱乾燥区では, 初めに高水分小麦でも熱損傷を起さないとされる 40°C(佐々木, 1982b)に設定したオーブンを用いて 24時間乾燥させ, その後静置式常温通風乾燥機にて引続き乾燥を行った。両区とも常温通風乾燥機で2週間程度通風を行い, 水分 13%以下まで乾燥させ, その後冷蔵庫内に保存した。各収穫区毎にブラベンダー製粉用試料は 2kg程度, ビューラー製粉用試料は 7kg程度を網状の袋に入れ, 乾燥を行った。

3) 品質分析

穀粒水分の測定は10g粒-135°C-24時間法により行い、結果は湿量基準(w. b.)で表した。製粉試験は小麦品質検定方法(農林水産省技術会議事務局, 1968)に準じ、各区150gの試料についてブラベンダーテストミルを用いて行った。粉色測定には分光測色計(ミノルタ製CM3500)を用い、デンプン品質の指標である糊化特性の測定にはラピッドビスコアライザー(Newport Scientific製RVA-3D)を用いた。

原麦のタンパク質含量、灰分及びフォーリングナンバーの測定、またビューラーテストミル製粉試験及びアミログラフ、ファリノグラフ、エキステンソグラフの測定は、財団法人日本穀物検定協会へ依頼した。ビューラー製粉試験、アミログラフ、ファリノグラフ、エキステンソグラフの測定は、試料量不足のため常温乾燥試料についてのみ行った。

2.1.3 結果及び考察

1) 収穫試験

(1) 作物条件及び気象条件の推移

試験区の草丈は平均102cm、収量は水分13.5%換算で平均620kg/10a、刈高は平均8.5cmであった。

試験期間中の気候条件、穀粒水分、ワラ水分、完全粒中に占める屑粒の割合、及び千粒重を図2-1-1に示す。

収穫試験時の穀粒水分は48%から30%程度まで下降傾向を示し、出穂後52~53日目の降雨後、54日目には若干上昇するものの57日目には30%程度まで低下した。ワラ水分は出穂後54日目までは60%程度で推移し、降雨後の出穂後54日目には若干上昇するものの57日目には45%程度まで低下した。屑粒割合は1%程度から下降傾向を示し、出穂後51日目以降は0.5%程度でほぼ安定した。千粒重は35gから上昇傾向を示し、出穂後54日目以降は40g程度で安

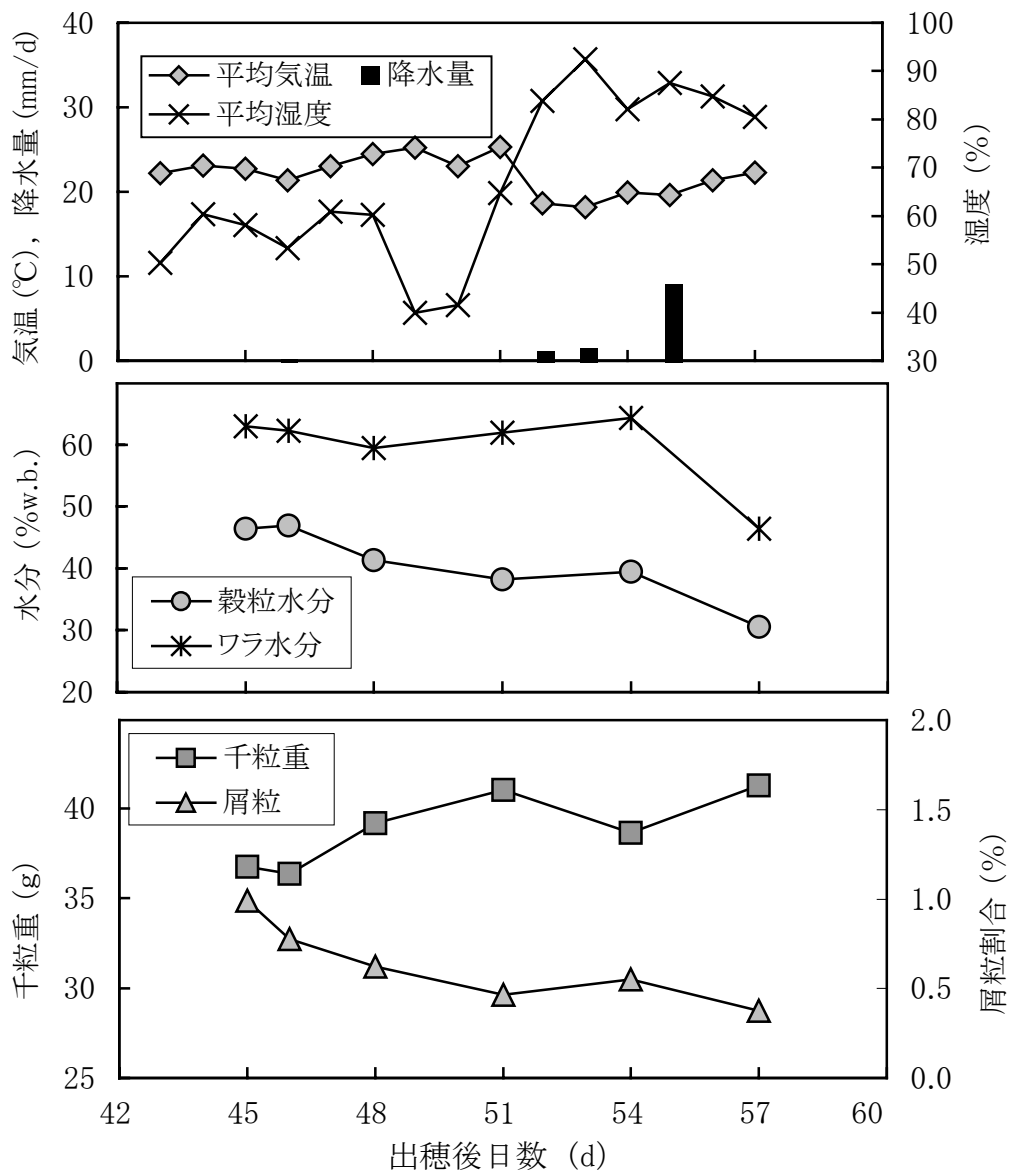


図 2-1-1 作物条件と日平均気温及び湿度の推移

定した。以上のことから、穀粒水分が 40%程度の出穂後 51 日目から 54 日目の間にほぼ乾物集積が停止し、その後穀粒、ワラともに乾燥が進み、57 日目以降には穀粒水分が 30%以下の収穫適期を迎えたといえる。穀粒水分 45%以上では、小麦粒が未成熟であり、40%程度まで低下する時期に乾物集積が完了し、品質的にも収穫適期を迎えるとの既往の研究(松崎ら, 1997a, 1997b, 谷口, 1990, 星野ら, 1991)を裏付ける結果であった。

(2) 作業条件の作業精度への影響

収穫試験時の穀粒損失と乾物排ワラ流量を図 2-1-2 に示す。穀粒損失は 2.3%以下であった。また、こぎ胴普通回転区(こぎ歯先端周速度 13.7m/s)では処理量が低下すると損失が増える傾向が見られた。ワラ流量 300kg 及び 500kg 付近でこぎ胴回転数の高い方が損失率が高い傾向が見られた。こぎ胴と選別部の唐箕は連動しているため、こぎ胴回転数が高いと唐箕の風量が上がり、選別損失が増加するためと推察される。

図 2-1-3 にこぎ胴普通回転(こぎ歯先端周速度 13.7m/s)作業速度普通速(0.44m/s)区における穀粒損失の内訳の推移を示す。扱残は 1%以下、排塵口への混入は出穂後 45 日目を除いて 0.3%以下、頭部損失は 0.2%以下であった。他の作業条件においてもほぼ同等の傾向であった。扱残割合については、収穫時に桿が逆側に折曲ってこぎ胴を通過せず脱穀されない穂があり、その多少からばらつきが生じた。出穂後 54 日目には 0.9%と高い値であったが、他の作業条件に共通の傾向ではなく、ばらつきと考えられる。また、排塵口混入割合は作業条件に関わらず出穂後 45 日目に高い値を示し、こぎ胴低速回転(こぎ歯先端周速度 12.6m/s)中低速(0.31m/s)区以外においては 46 日目においても同等の値を示した。包皮粒は風選時に排塵口に混入し易く、特に早期の出穂後 45 日目には排塵口への混入が顕著であったと考えられる。作業条件に関わらず頭部損失は出穂後 57 日目に高い値を示した。成熟、乾燥に伴って脱粒し易くなる

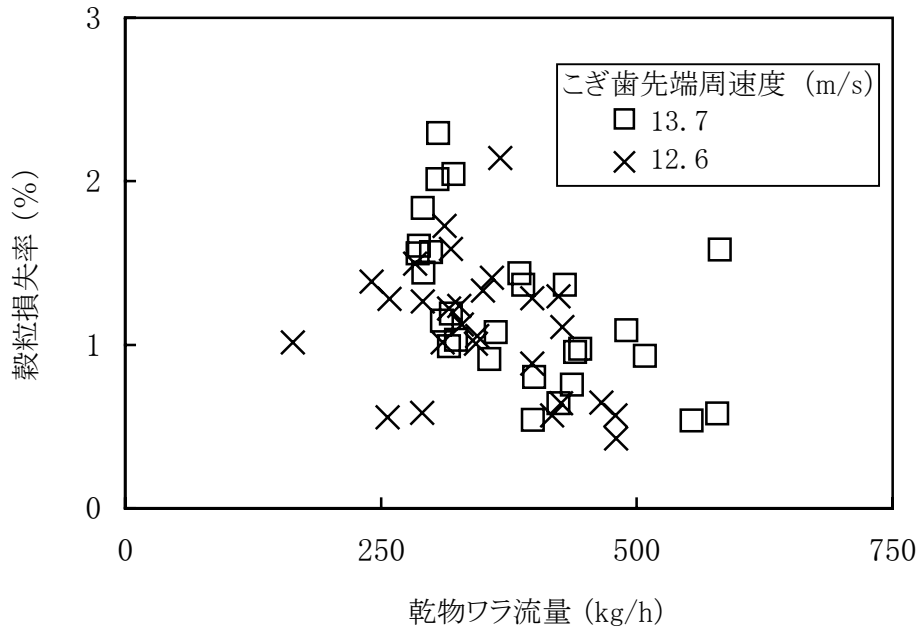


図 2-1-2 ワラ流量と穀粒損失

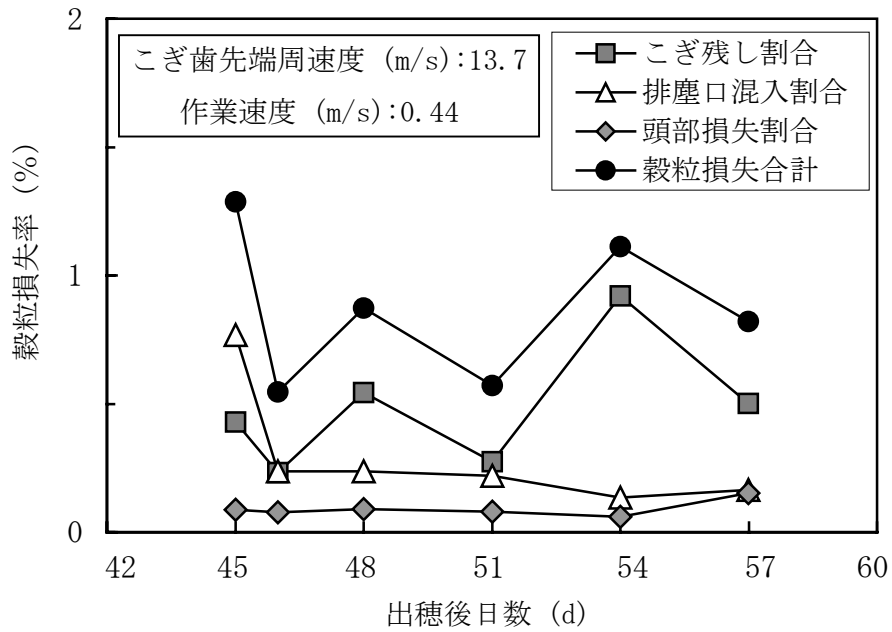


図 2-1-3 穀粒損失の内訳

ため、乾燥の進んだ出穂後 57 日目には増加したと考えられる。

図 2-1-4、図 2-1-5 に穀粒水分及び収穫時期と損傷率の関係を示す。損傷率は穀粒水分 35%以上で最大約 1%，35%以下では 0.1%以下であった。経時的には減少傾向を示したが、こぎ胴低速回転区において降雨後の出穂後 54 日目には穀粒水分が 40%程度であっても 1%近い損傷粒が発生する場合があった。これより、穀粒水分の低下により損傷率は減少するが、降雨直後には、同程度の水分であっても降雨前より損傷率が高くなる場合があることが示された。遭雨なしの乾燥過程にある場合と穀粒内での水分分布、損傷性等の物性が異なるためと推察される。

作業条件では、こぎ胴回転数が高い方が損傷率が高く、こぎ胴回転数が同程度ならば作業速度が遅い方が損傷率が高い傾向が、出穂後 54 日目を除き認められた。出穂後 54 日目には、こぎ胴普通回転区ではほぼ上記の傾向に沿った結果であったが、低速回転区では逆転が見られた。降雨後の穂の乾燥が一定でないことや粒の流動性の悪さから通常起らないコンバイン内オーガ等でのつぶれ等が生じ、損傷粒が不規則に発生したと考えられる。

穀粒口への屑の混入率については、図 2-1-6 に示すように、いずれの区も出穂後 45～46 日目は 5%以下、48～54 日目は 2%程度、57 日目は 0.3%以下であった。出穂後 48 日目以降は 46 日目以前と比較して大きく低下しており、登熟に伴って包皮粒が減り、選別精度が向上したことによると考えられる。作業条件ではこぎ胴回転数が高い方が若干混入率が少なく、作業速度は遅い方が少なかった。

2) 品質分析

(1) 原麦品質

原麦の灰分とタンパク質含量の分析結果を図 2-1-7 に示す。灰分(水分 13.5%換算)は 1.4～1.5%程度で推移し、出穂後 48～54 日目はほぼ一定であったが、

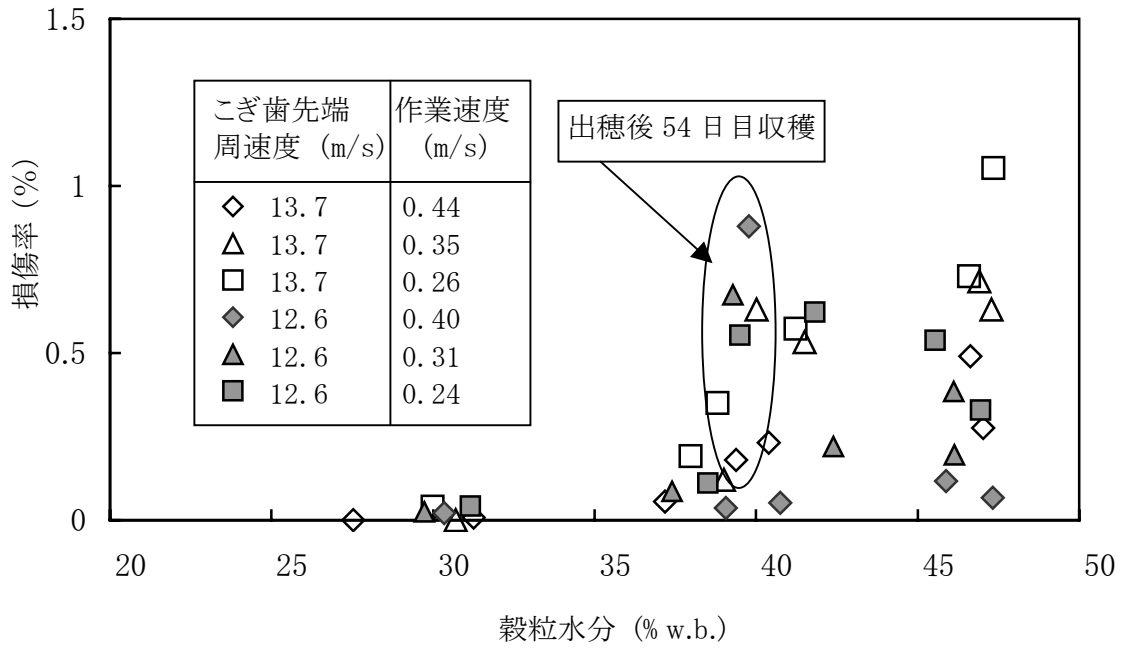
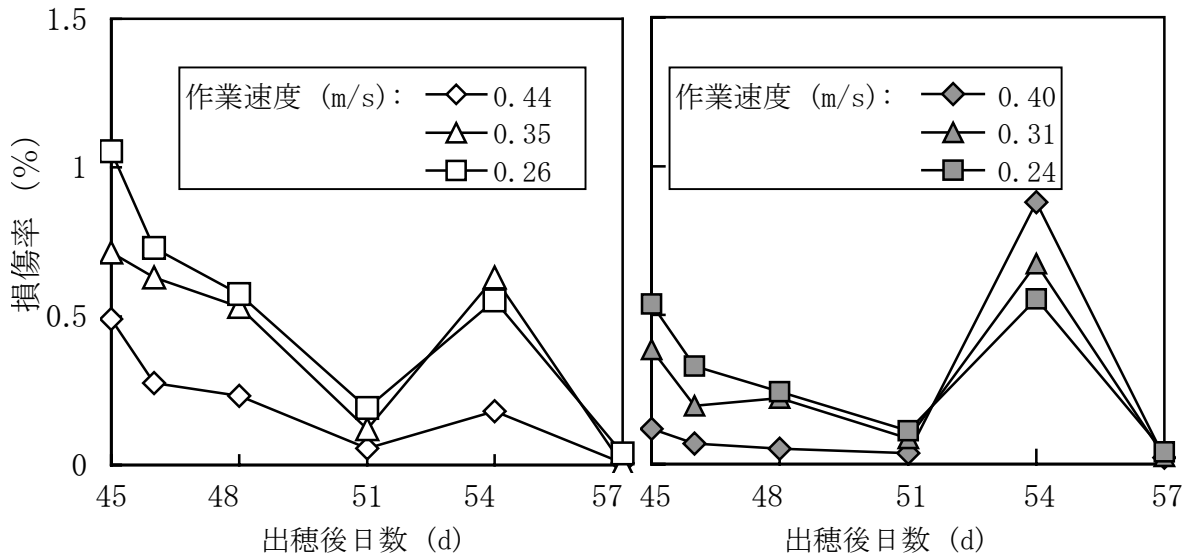


図 2-1-4 穀粒水分の損傷率への影響



(a) こぎ歯先端周速度 13.7 m/s

(b) こぎ歯先端周速度 12.6 m/s

図 2-1-5 各作業条件における損傷率

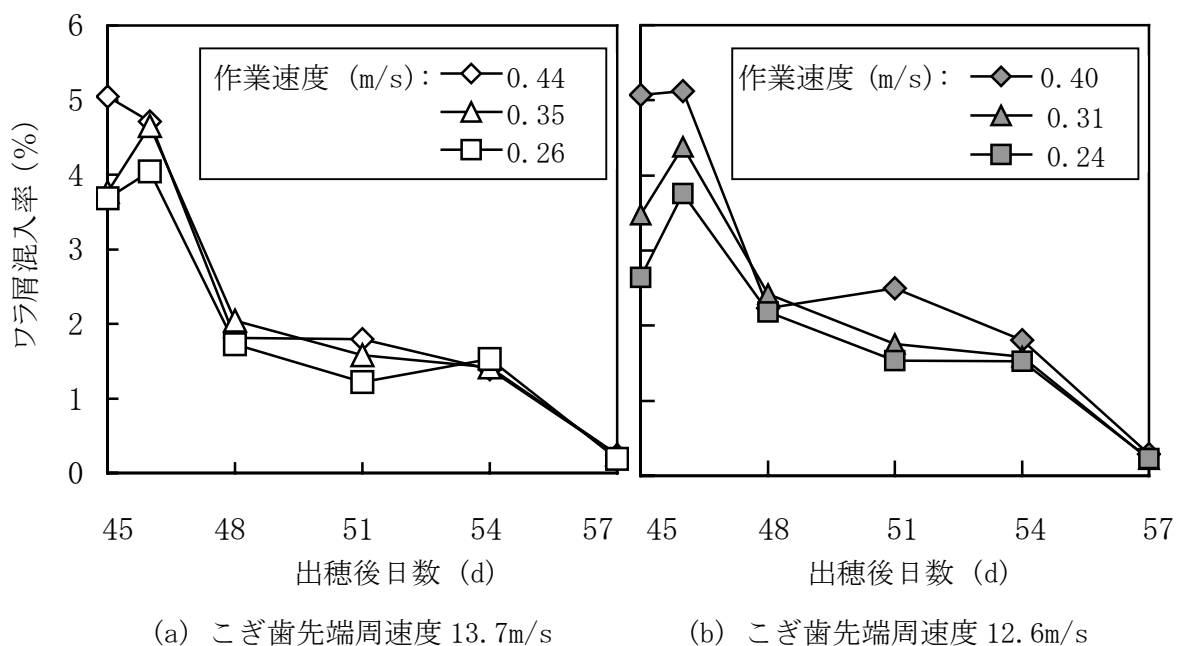


図 2-1-6 各作業条件における穀粒ロワラ屑混入率

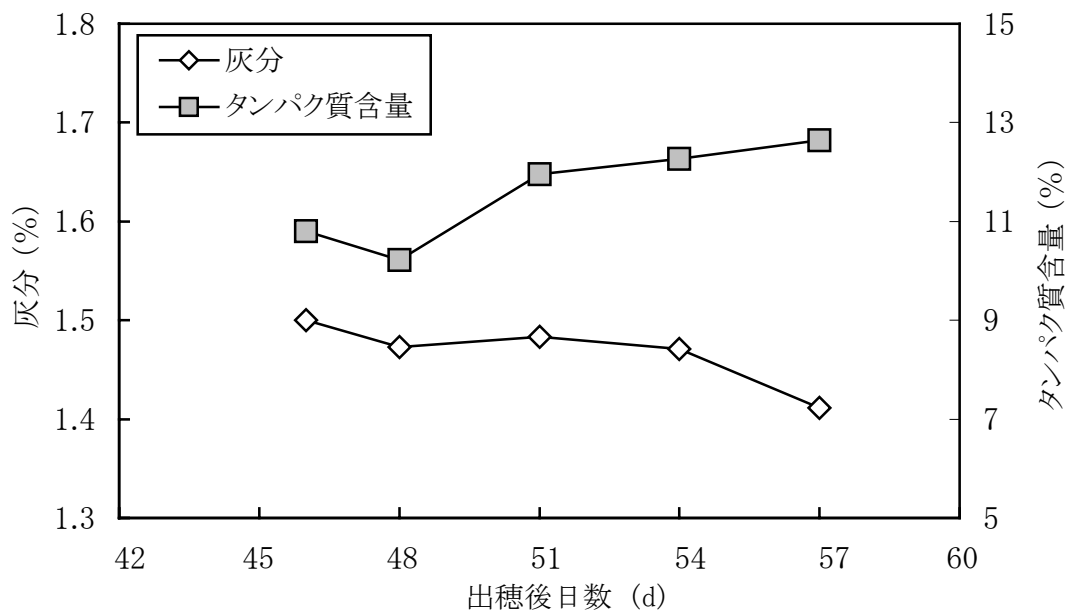


図 2-1-7 灰分及びタンパク質含量の推移

出穂後 57 日目には若干低下した。タンパク質含量（水分 13.5%換算）は 10～13%程度で上昇傾向を示し、出穂後 51 日目以降はほぼ安定した。

(2) 加工品質

a 製粉性

ブラベンダーテストミル及びビューラーテストミルによる製粉歩留を図 2-1-8 に示す。ブラベンダーテストミルによる製粉では、バインダ区は歩留 58～61%で若干の下降傾向を示して推移した。コンバイン区は歩留 55～65%程度で上昇傾向を示して推移し、出穂後 54 日目にピークを示し、57 日目には低下がみられた。作業条件、乾燥法による影響は認められなかった。バインダ区と比較して、コンバイン収穫の場合は収穫時期による製粉歩留の変動が大きいことが認められた。こぎ胴回転数、作業速度及び乾燥温度による製粉歩留への明確な影響は認められず、原因は不明である。また、出穂後 48 日目、51 日目、54 日目に収穫し、常温乾燥を行った試料について、ビューラーテストミルによる製粉試験を行った。製粉歩留は 65～70%程度で、若干の上昇傾向が見られた。作業条件による影響は認められなかった。

b 粉色

ブラベンダーテストミルによって製粉した試料の粉色について、分光測色計によるL*値、a*値、b*値の測定結果を図 2-1-9 に示す。L*値は粉色の明るさ、a*値は赤み、b*値は黄みの指標であり、L*値とb*値は高い値、a*値は低い値が好ましいとされている（農林水産省、2000）。以降、そのような傾向を示すものを粉色が良いと表現する。L*値については、86～88 程度で出穂後 48 日目をピークに降雨後の 54 日目には下がるが 57 日目には上昇した。作業条件ではこぎ胴普通回転区(こぎ歯先端周速度 13.7 m/s) がこぎ胴低速回転区(こぎ歯先端周速度 12.6m/s) より低い傾向を示し、特に降雨後の出穂後 54 日目に明確に認められた。乾燥条件による影響は認められなかった。バインダ区（脱穀時こぎ歯先

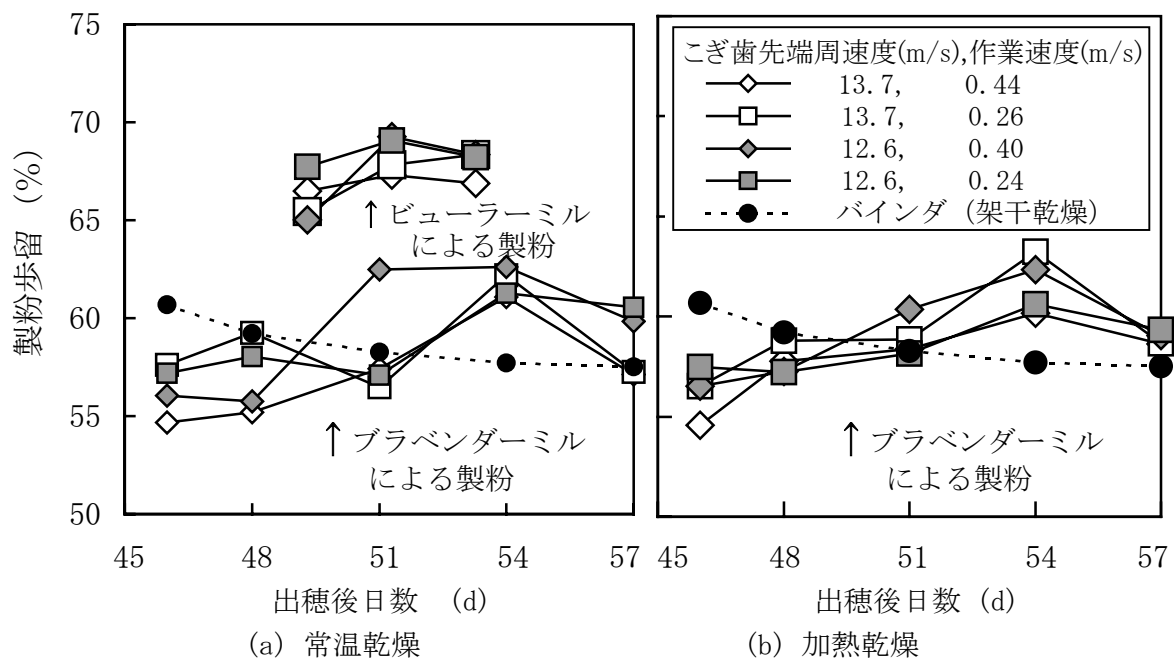


図 2-1-8 各作業条件と製粉歩留

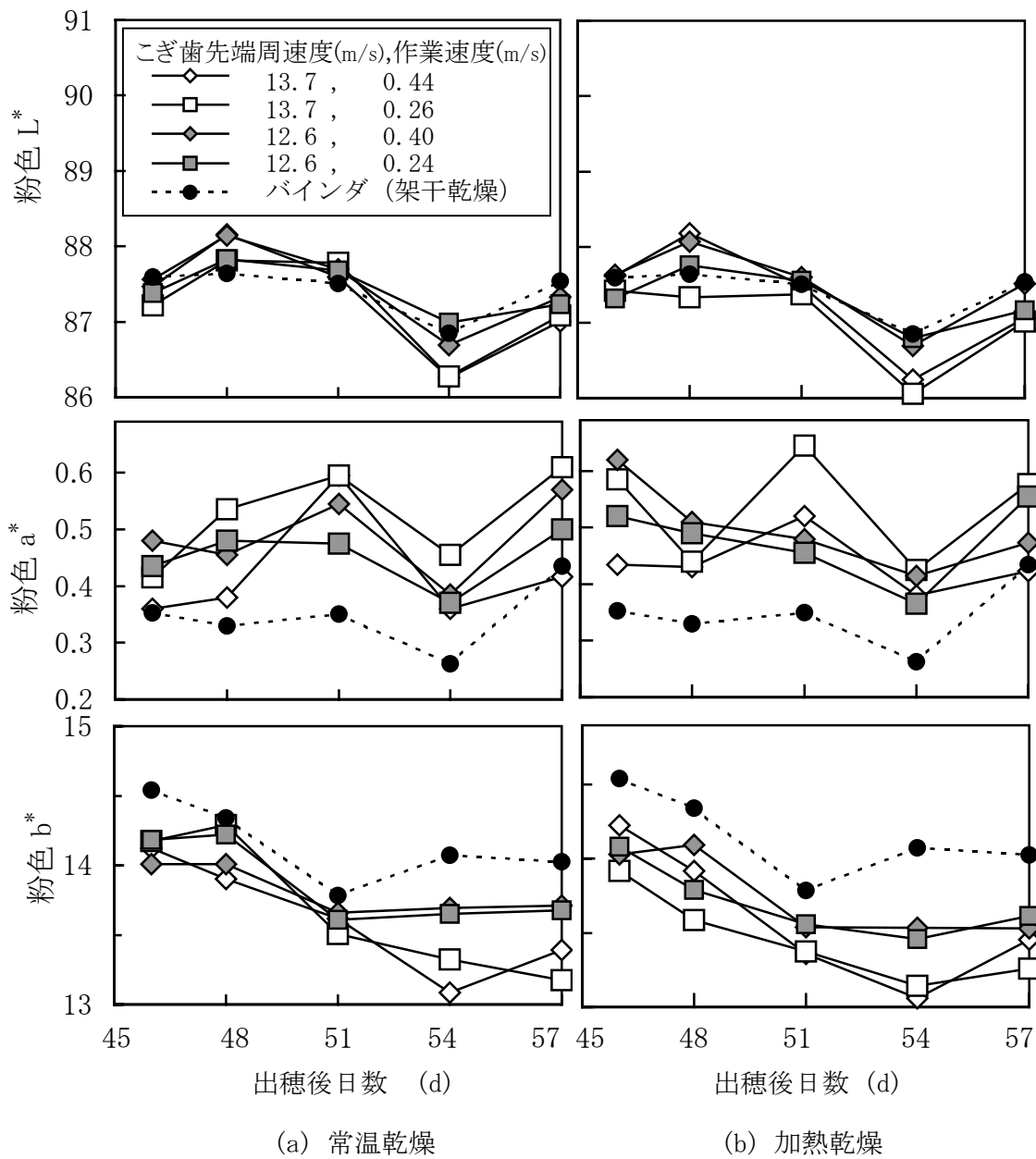


図 2-1-9 作業条件と粉色

端周速度 14.6m/s) は 87~88 程度で推移し、こぎ胴低速回転区とほぼ同等の値を示した。

a*値は 0.3~0.6 程度で降雨後の出穂後 54 日目には低下する傾向が見られたが、収穫時期、作業条件、乾燥条件による明確な影響は認められなかった。バインダ区は出穂後 51 日目まで 0.3~0.4 でほぼ一定の値であったが、54 日目には 0.3 以下まで低下した。その後、出穂後 57 日目には 0.4 以上まで上昇した。出穂後 57 日目以外はコンバイン収穫より低い値を示した。

b*値は 13~14 程度で推移し下降傾向を示した。作業条件では出穂後 51 日目に降にこぎ胴低速回転区がこぎ胴普通回転区より高い値を示す傾向が認められた。乾燥条件では常温乾燥区が若干高い値を示す傾向が認められた。バインダ区は 13.5~14.5 程度で若干の下降傾向を示したが、常にコンバイン収穫より高い値を示した。

次に、粉色の違いを以下の様に定義される色差を用いて検討する。

2 色 (L_1^* , a_1^* , b_1^*) 及び (L_2^* , a_2^* , b_2^*) の色差 dE_{12}^* は、

$$dE_{12}^* = \{(L_1^* - L_2^*)^2 + (a_1^* - a_2^*)^2 + (b_1^* - b_2^*)^2\}^{1/2} \quad (1)$$

と定義される (Komatsubara, 1998)。

バインダ区と各作業条件時のコンバイン収穫区の色差を図 2-1-10 に示す。色差の範囲は 0.25~1.23 で、降雨後の出穂後 54 日目に最大値を示した。作業条件に関してはこぎ胴普通回転区(こぎ歯先端周速度 13.7m/s)で色差が 0.3~1.2、低速区(こぎ歯先端周速度 12.6m/s)で 0.25~0.62 を示し、こぎ胴回転数が低い方がバインダ区との色差が小さくなることが示された。また、作業速度低速区(こぎ胴普通回転時 0.26m/s, こぎ胴低速回転時 0.24m/s)が普通速区(こぎ胴普通回転時 0.44m/s, こぎ胴低速回転時 0.40m/s)より色差が若干大きくなる傾向が見られた。乾燥法の色差への明確な影響は認められなかった。

こぎ胴低速回転区(こぎ歯先端周速度 12.6m/s)ではバインダ区との色差が実

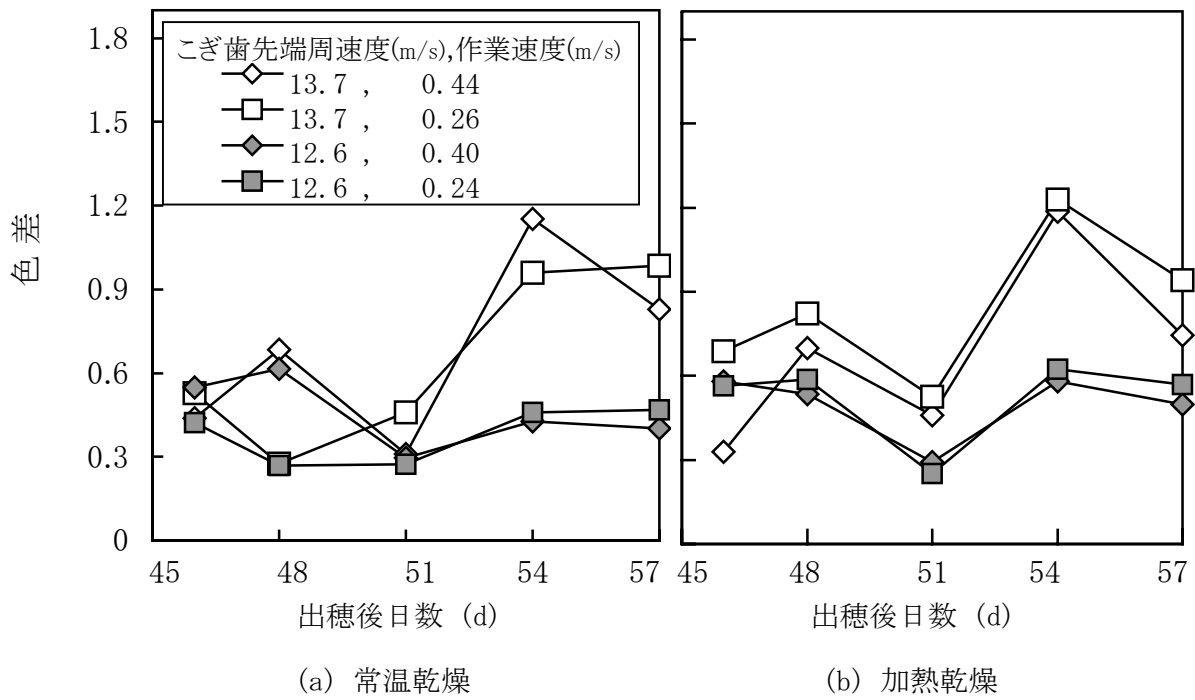


図 2-1-10 各作業条件における粉色のバインダ区との色差

用的な許容差の限界とされる 0.6 (1 級, 厳格色差) 以下であった。また, 通常のごぎ胴回転数では最大色差が 1.2 程度であり, 並べて判定した場合にほとんどの人が容易に認められるとされる色差 1.2 以下 (2 級, 実用色差 a, マンセル AAA 級) に相当した (小松原, 1998)。

以上から作業条件に関して, コンバイン区ではごぎ胴低速回転区の粉色が良く, バインダ区はコンバイン区より粉色が良い傾向が認められた。粉色を低下させる原因の一つとしてふすまの粉へ混入が挙げられるが, 脱穀時におけるごぎ歯の小麦粒への打撃速度の違いが製粉時のふすまの篩分特性及び粉色に影響を与え, 衝撃が大きい場合にはふすまが混入しやすいと推察される。収穫時期に関しては, 早期収穫の方が優れる傾向が認められた。降雨後の出穂後 54 日目は 48 日目と同程度の穀粒水分であったが, L*値は明確に低下した。その後, 穀粒水分 30%程度まで乾燥した出穂後 57 日目には再び上昇した。バインダ区も含めて向上しているため, 高水分脱穀による穀粒へのごぎ歯の衝撃の影響だけではなく, 収穫後の乾燥過程での劣化も影響したと推察される。

c フォーリングナンバー

フォーリングナンバーは小麦粉の α アミラーゼ活性の指標で, 小麦全粒粉を試験管内の水に拡散させ, 攪拌加熱後に攪拌棒が試験管中を一定距離落下する時間を秒で表したものである。穂発芽により α アミラーゼ活性が高い場合には, 澱粉の分解が進んでいるため値が低くなる。フォーリングナンバーの測定結果を図 2-1-11 に示す。値は 330~400 程度の範囲で推移したが, ばらつきが大きく, 収穫時期, 作業条件, 乾燥条件による明確な影響は認められなかった。降雨後のバインダ区はコンバイン区より低い値を示した。バインダ区は架干乾燥のため, 降雨による濡れの乾燥が遅れることによりデンプン品質の劣化が生じたものと考えられる。

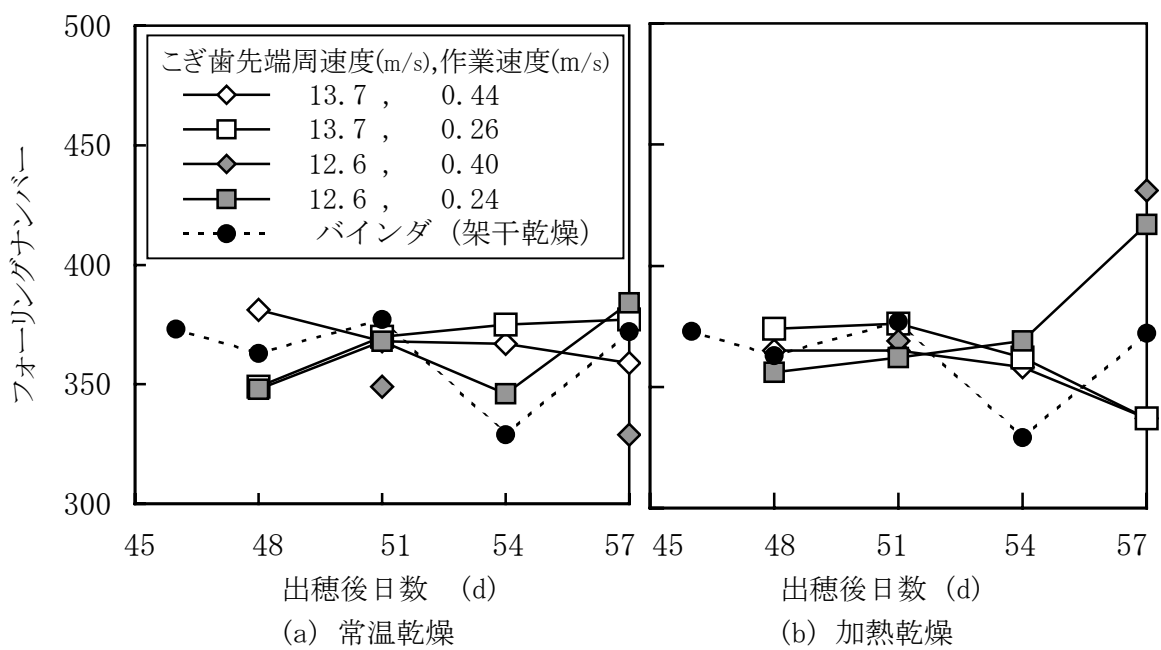


図 2-1-11 作業条件とフォーリングナンバー

d ラピッドビスコアナライザー (RVA) による糊化特性試験

生地加工適性の指標として主にデンプン品質を反映する小麦粉の糊化特性について、ラピッドビスコアナライザー (Rapid Visco Analyzer; RVA) を用いて測定した結果を図 2-1-12 に示す。また、測定条件を表 1 に示す。加熱時の粘度の最大値であるピーク値は、350~400RVU (Rapid Visco Unit) 程度で推移し出穂後 48 日目をピークに全体としては減少傾向を示した。降雨後の出穂後 54 日目を除いてコンバイン区はバインダ区よりやや低い値であった。また、常温乾燥区ではこぎ胴低速回転 (こぎ歯先端周速度 12.6m/s) 作業速度低速 (0.24m/s) 区を除き、出穂後 57 日目に値が上昇した。作業条件による明確な影響は認められなかった。乾燥条件では加熱乾燥区が若干高めの値を示した。

ピーク値とそれに続く最低値との差であるブレイクダウン値は、150~220RVU 程度の範囲で推移し全体としては減少傾向を示した。作業条件による明確な影響は認められなかった。乾燥条件では加熱乾燥区が若干高めの値を示した。冷却後の粘度である最終粘度の値は、480~580RVU 程度の範囲で推移し出穂後 48~51 日目にピークを示した。降雨後の出穂後 54~57 日目を除いてコンバイン区はバインダ区よりやや低い値であった。乾燥条件では加熱乾燥区が若干高めで安定した値を示した。また、常温乾燥区ではこぎ胴低速回転 (こぎ歯先端周速度 12.6m/s) 作業速度低速 (0.24m/s) 区を除き、出穂後 57 日目に値の上昇が認められた。

最終粘度値とピークに続く最低値との差であるセットバック値については 250~300RVU 程度の範囲で推移し全体としては増加傾向を示した。バインダ区はコンバイン区より低くなる傾向を示したが、作業条件、乾燥条件の影響は認められなかった。

測定項目のいずれもデンプン品質の劣化により低下する指標であり、値が高い方が加工適性が優れる。本測定結果では収穫時期が早期の方がピーク値及び

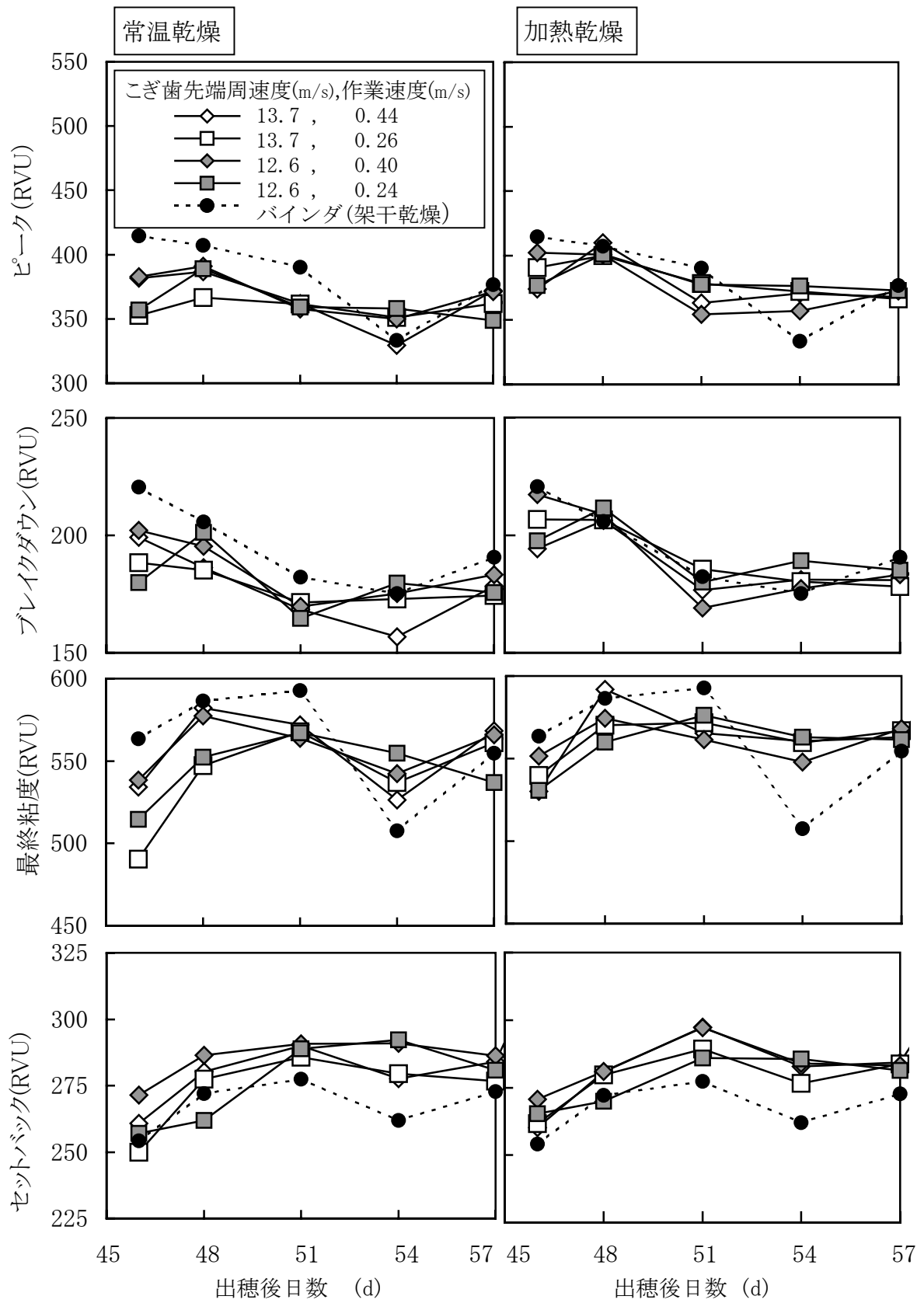


図 2-1-12 ラビットビスコアナライザー試験結果

表 2-1-1 ラピッドビスコアライザー試験条件

時間	設定項目	設定値
初期設定	温度	34℃
初期設定	回転速度	960rpm
30 秒後	回転速度	160rpm
2 分後	温度	34℃
14 分後	温度	94℃
19 分後	温度	94℃
31 分後	温度	34℃
35 分後	温度	34℃

ブレイクダウン値が高いが、出穂後 45 日目収穫試料では最終粘度、セットバック値が低く、出穂後 48～51 日目の収穫が総体的に品質が良好である。

バインダ区では降雨後の出穂後 54 日目には各項目とも低下し、57 日目には上昇が認められた。出穂後 54 日目については、フォーリングナンバーの値も低く、架干乾燥による乾燥遅れによると考えられる。また、コンバイン収穫でも常温乾燥区のピーク値及び最終粘度値において、こぎ胴低速回転(こぎ歯先端周速度 12.6m/s)作業速度低速(0.24m/s)区を除き同様の傾向が認められた。作業条件によるデンプン品質への影響は認められなかった。乾燥条件では加熱乾燥区が若干高い値を示した。常温乾燥は加熱乾燥と比較して乾燥が遅れるため、乾燥過程において劣化が生じたと考えられる。

e アミログラム

図 2-1-13 にアミログラム試験の結果を示す。アミログラムの最高粘度 (MV) はデンプンの劣化により低下する指標である。高すぎるものは酵素活性が低く、製麺用、菓子用には悪影響は無いが、製パン用には不適である。また、低い場合はいずれの用途においても加工適性が悪く不適である。最高粘度は 1000～450BU(Brabendar Unit)程度で推移し、降雨後の出穂後 54 日目は 51 日目の値と比較して大きく低下した。作業条件では低速作業区(こぎ胴普通回転時 0.26m/s, こぎ胴低速回転時 0.24m/s)が高めの値を示した。最高粘度時の温度 (MVT)は 86～91BU 程度で推移し、出穂後 51 日目をピークに降雨後の 54 日目には 48 日目より低下した。また、作業条件では普通作業速度区(こぎ胴普通回転時 0.44m/s, こぎ胴低速回転時 0.40m/s)が高い傾向を示した。糊化開始温度 (GT)は 60℃弱程度を中心に下降傾向を示した。作業条件では普通作業速度区が高い傾向を示した。

アミログラム試験の結果では、収穫時期について出穂後 51 日目が総体的には良好で、降雨後の 54 日目に明確に劣化が認められた。作業条件の影響も示唆さ

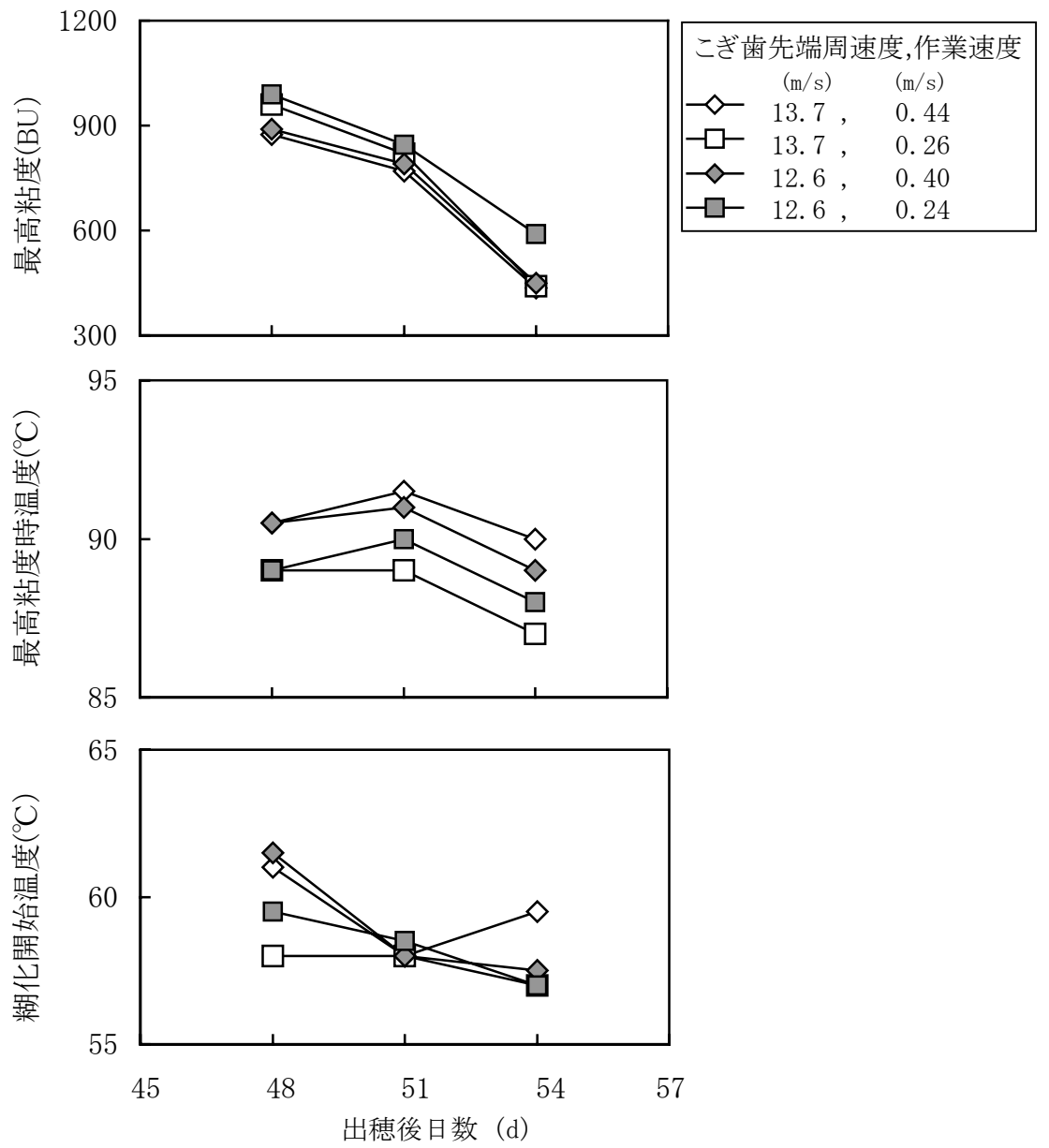


図 2-1-13 作業条件とアミログラム(常温乾燥)

れたが明確な傾向は認められなかった。出穂後 51 日目から 54 日目について、ラピッドビスコアナライザーのピークと比較してアミログラムの最高粘度が大きく低下した。ブラベンダー製粉用試料では 1 区 2kg, ビューラー製粉用試料は 1 区 7kg 程度を網状の袋に入れ, 静置式乾燥機内にて乾燥を行ったため, 通気性の違いからビューラー製粉用試料は乾燥が遅れ, 品質の劣化が顕著であったと考えられる。

f ファリノグラム

図 2-1-14 に小麦粉生地の加工特性の指標としてファリノグラム試験の結果を示す。ファリノグラムとは小麦を水でこねる抵抗の推移を, 電動ミキサーおよびダイナモメーターを用いて測定する装置である。これにより強力粉, 薄力粉等の粉のタイプ, 生地の抵抗性, 粉の吸水率について知ることができる。吸水率(Ab)は 51~55%程度で上昇傾向を示して推移し, 作業条件ではこぎ胴普通回転区(こぎ歯先端周速度 13.7m/s)が高い値を示した。生地の形成時間(DT)は 1~3 分程度で上昇傾向を示した。生地の安定度(Stab)は 1~2 分程度で上昇傾向を示した。生地の弱化度(Wk)は 100~150BU程度で出穂後 48 日目が最高値, 51 日目には最低値を示すが 54 日目には若干上昇した。バリロメーターバリュー(VV)は 30~45 程度で出穂後 48 日目は 40 以下と低い値であったが, 以降は 40~45 程度であった。通常, バリロメーターバリューは, 菓子用 30 以下, 麺用 30~70, パン用 70 以上とされる(農林水産省技術会議事務局, 1968)。生地の形成時間, 安定度, 弱化度, バリロメーターバリューとも作業条件による明確な影響は認められなかった。

ファリノグラム試験では収穫時期による影響が認められ, 出穂後 48 日目は特に生地の弱化度とバリロメーターバリューが悪く全体としては 51 日目以降が良好であったといえる。作業条件では吸収率についてこぎ胴回転数の影響が示唆されたが, 全体としては明確な影響は見られなかった。

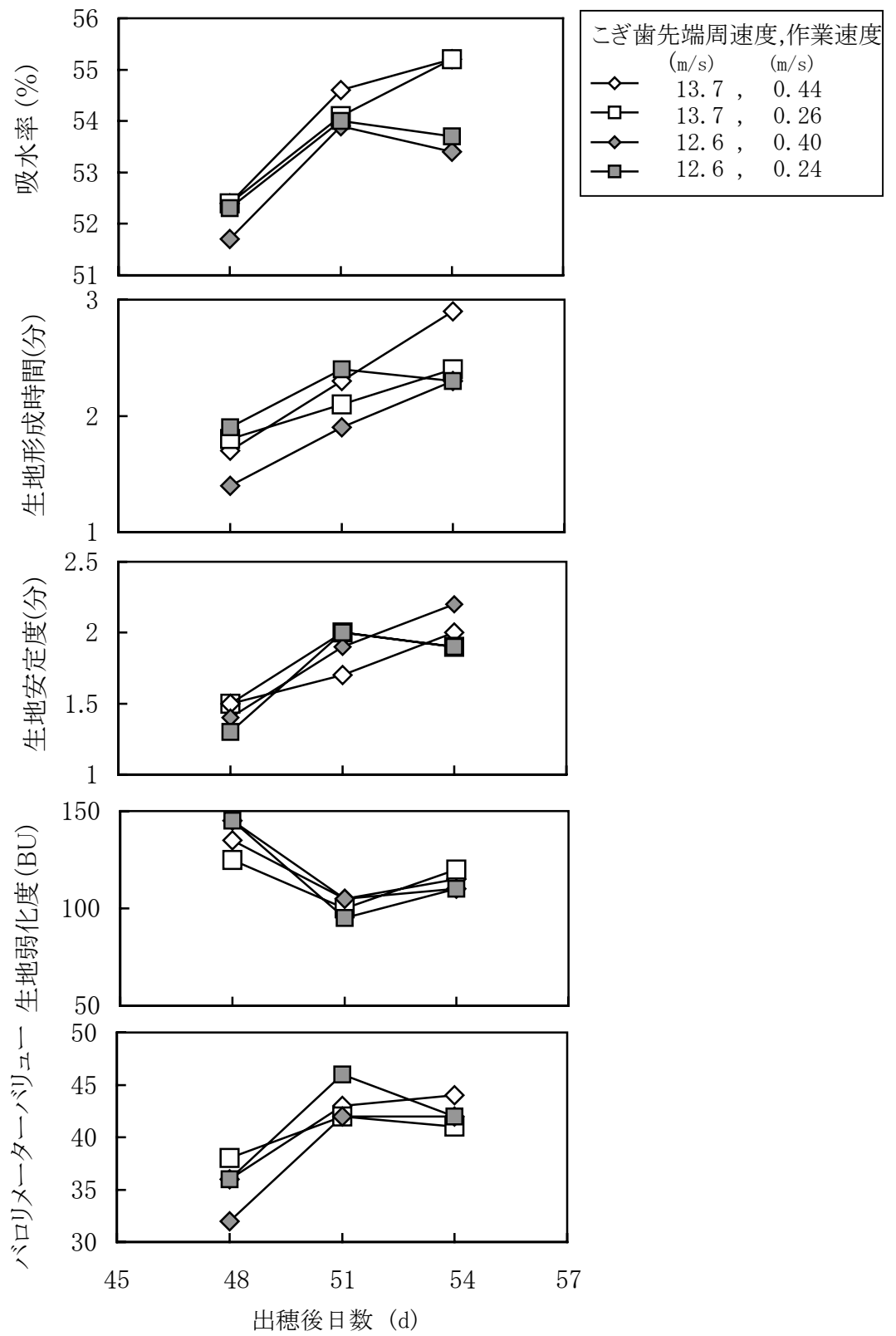


図 2-1-14 作業条件とファリノグラム(常温乾燥)

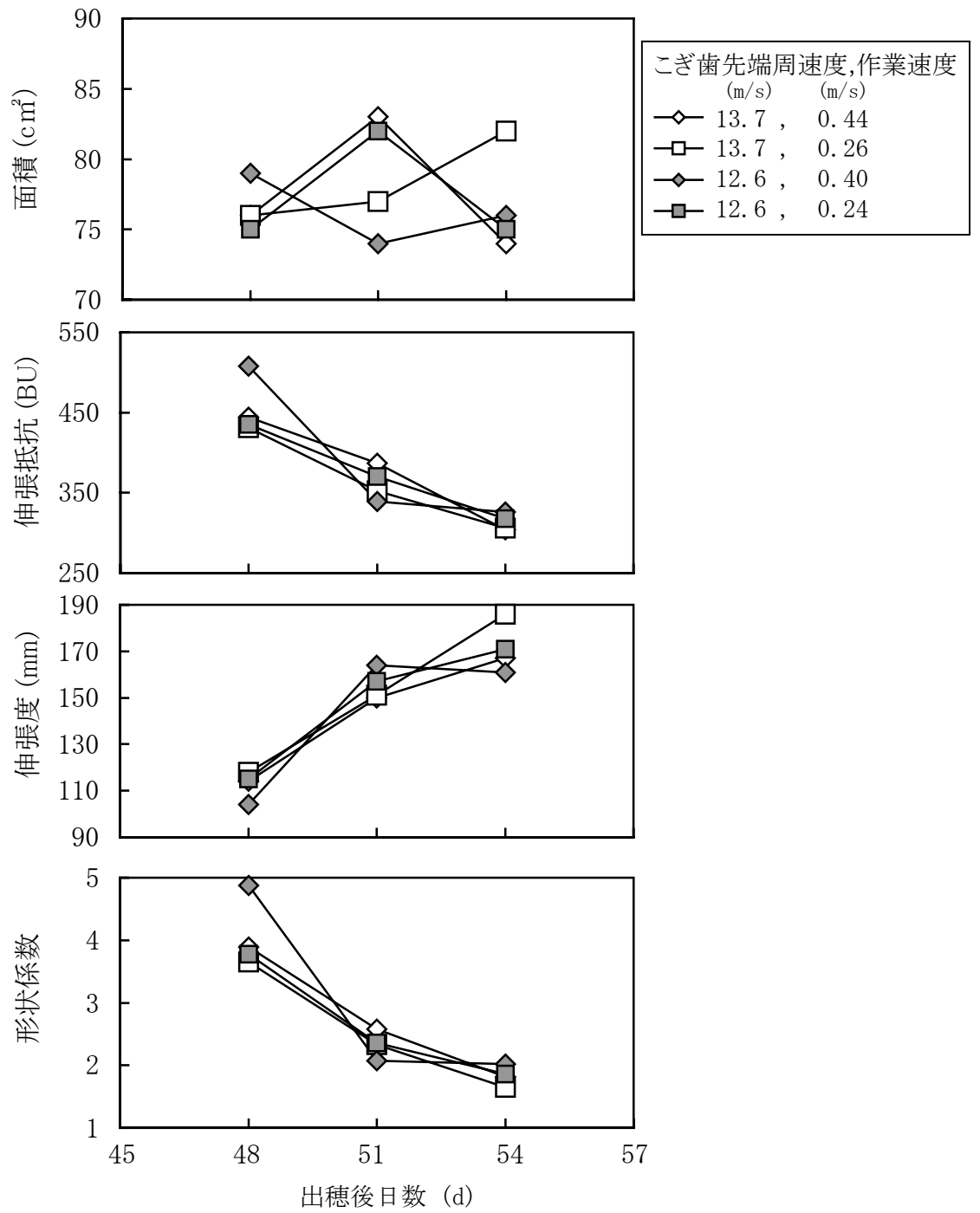


図 2-1-15 作業条件とエキステンソグラム(常温乾燥)

g エキステンソグラム

図 2-1-15 に小麦粉生地の伸張特性の指標としてエキステンソグラム試験の結果を示す。エキステンソグラムとは一定の堅さの生地の伸張度および伸張抵抗を記録するものである。生地のいわゆる「あし」および「こし」の強さを表し、二次加工の発酵操作を行う際の判断材料となる。機械が記録する図形の面積は、生地の伸張抵抗および伸張度に比例して大きくなり、生地の発酵程度の指標となる値である。菓子用は $50\sim 60\text{ c m}^2$ 、麺用は $60\sim 80\text{ c m}^2$ 、パン用は $140\sim 160\text{ c m}^2$ 程度である（農林水産省技術会議事務局，1968）。面積（A）の測定結果は、 $75\sim 85\text{ cm}^2$ 程度であった。収穫時期，作業条件による明確な影響は認められなかった。伸張抵抗（R）は $300\sim 500\text{ BU}$ で下降傾向を示して推移した。伸張度（E）は $100\sim 190\text{ mm}$ 程度で上昇傾向を示して推移した。形状係数（R/E）については $2\sim 5$ 程度で下降傾向を示して推移した。伸張抵抗，伸張度，形状係数とも作業条件による明確な影響は認められなかった。

エキステンソグラム試験では収穫時期による影響が認められ、出穂後 48 日目が伸張抵抗と伸張度が優れ品質が良いと判断される。作業条件については全体として明確な傾向は示されなかった。

3) 総合考察

試験結果より，粒の成熟度，粉色，加工適性及び気候条件から判断すると，出穂後 48～51 日目，穀粒水分 $37\sim 42\%$ 程度の時期の収穫が品質面から最適であった。

高水分小麦の自脱コンバイン収穫においては，穀粒水分 $30\sim 35\%$ 以下の適正水分での収穫が望ましいとされているが，乾燥機への投入遅れがなく適切に乾燥が行える条件下であれば，穀粒水分 40% 程度の高水分収穫は降雨以後に収穫する場合より，高品質の小麦を得られることが示された。乾燥条件については，降雨後の穀粒水分 40% 程度での収穫において，バインダ区及び常温乾燥区では

乾燥の遅れによる品質劣化が生じたと考えられ、加熱通風による迅速な乾燥が望ましいといえる。ただし、その際、熱損傷を起さないよう穀温を40℃程度以下に抑える必要がある(佐々木, 1982b)。また、作業条件についてはコンバイン収穫はバインダ収穫より粉色が劣るとされているが、こぎ胴回転数を低速(種子用穀粒採取設定等)に設定し、通常の作業速度にて収穫することにより、バインダ収穫の場合と同程度(色差0.6以内)の小麦粉を得ることが可能であった。

2.2 普通コンバインによる高水分小麦収穫試験

2.2.1 はじめに

普通コンバインは、元々、畑作用の大規模生産向けの機械であるため、国内の普及台数は自脱コンバインに及ばないが、大規模畑作を行う小麦生産現場では多く用いられている。しかし、適期水分での収穫を想定した設計であるため、高水分小麦収穫時の作業の指針は無く、収穫作業においては作業者の経験に依るところが大きい。

本項では普通コンバインによる高水分小麦収穫について、収穫時期や穀物水分条件などの作物条件及びコンバイン設定などの作業条件と品質劣化程度の関係を明らかにし、品質を出来るだけ劣化させずに収穫作業を行うための指針を得ることを目的とした。なお、試験には市販のコンバインを無改造で供試し、高水分期から収穫適期とされる時期まで連続的なデータ収集を行った。

2.2.2 試験方法

1) 収穫試験

(1) 作業条件

茨城県つくば市の中央農業総合研究センター実験圃場にて標準的な栽培を行った小麦(農林61号)について、出穂後41~52日目(2003年6月9~20日)



写真 2-2-1 普通コンバイン収穫試験

に延 7 日間の収穫試験を行った (写真 2-2-1)。

収穫試験には普通コンバイン (ヤンマー農機製 GS320GE, 4 条刈) を供試し, こぎ胴回転数 2 段階, 作業速度 2 段階の合計 4 作業条件を設定し収穫試験を行った。こぎ胴回転数を自動制御する「エコモード」は使わず, エンジン回転数によりこぎ胴回転数を調節した。また, こぎ胴低速回転区は回転数低下の警報が鳴らない範囲内に設定した。こぎ胴普通回転区ではこぎ胴回転数 800rpm, こぎ歯先端周速度 20.9m/s, こぎ胴低速回転区ではこぎ胴回転数 750rpm, こぎ歯先端周速度 19.6m/s に設定した。作業速度普通区では作業速度 0.45m/s, 作業速度低速区では作業速度 0.24m/s に設定した。

また, 対照区として自脱コンバイン及びバインダによる収穫区を設定した。自脱コンバイン (三菱農機製 VM 2, 2 条刈) の作業条件は, 普通回転区ではこぎ胴回転数 477rpm, こぎ歯先端周速度 13.7m/s, 及び低速回転区ではこぎ胴回転数 436rpm, こぎ歯先端周速度 12.6m/s の 2 条件を設定し, 作業速度はいずれも供試コンバインの標準的な作業速度である 0.44m/s とした (いずれも無負荷時)。バインダ収穫試料は乾燥後, 試験用脱穀機 (こぎ胴径 360mm, 回転数 593rpm, こぎ歯先端周速度 14.6m/s) にて脱穀した。

(2) 作業精度の測定

普通コンバインを用いた収穫試験は農機具型式検査 (農業機械化研究所, 1984) に準じ, 試験区 15m について, 作業速度, 穀粒口流量, 排塵排ワラ口流量, 頭部損失, 脱穀選別損失, 穀粒口の組成 (完全粒, 損傷粒, 屑) 等の測定を行った。穀粒口組成の測定は, 試料 600 g について, 欠け, 割れ, つぶれ等の機械的なダメージを受けた粒を損傷粒とし, 包皮粒は粒と皮を分離後, 粒は損傷が無ければ完全粒, 有れば損傷粒, 皮はワラ屑として分類した。屑粒の選別には, 食糧庁型縦目篩 (目幅 2.0mm) を用いた。また, 3000 粒程度の試料について, 粒数と重量から千粒重 (水分 13.5% 換算) を算定した。

自脱コンバイン及びバインダ収穫については作業精度の測定は行わなかった。

2) 乾燥試験

普通及び自脱コンバイン収穫試料を用いた乾燥試験では、常温乾燥区と加熱乾燥区を設定した。常温乾燥区では、静置式の通風乾燥機（金子農機 KFA-480B）を用いて常温通風乾燥を行った。加熱乾燥区では、初めに 40℃ に設定した実験用オーブン（清水理化学機器製作所 PS-815）を用いて 24 時間乾燥させ、その後静置式の通風乾燥機にて引続き常温通風乾燥を行った。両区とも約 2 週間常温通風を行い、水分 13% 以下まで乾燥させ、その後 10℃ に設定した冷蔵庫内に保存した。試料は各収穫区毎にブラベンダーテストミル製粉用試料として 2kg 程度、ビューラーテストミル製粉用試料として 7kg 程度を網状の袋に入れ、各設定条件にて乾燥を行った。バインダ収穫試料は静置式乾燥機にて約 2 週間常温通風乾燥を行った後脱穀した。

3) 品質分析

穀粒水分の測定は 10g 粒-135℃-24 時間法で行い、湿量基準で表記した。製粉試験は小麦品質検定方法（農林水産省技術会議事務局，1968）に準じ、各区 150g の試料についてブラベンダーテストミルを用いて行った。粉色測定には分光測色計（ミノルタ製 CM3500）を用い、澱粉品質の指標である糊化特性の測定にはラピッドビスコアライザー（Newport Scientific 製 RVA-3D）を用いた。

原麦のタンパク質含量、灰分の測定、またビューラーテストミル製粉試験及び反射率、アミログラフ、ファリノグラフ、エキステンソグラフの測定は（財）日本穀物検定協会へ依頼した。ビューラーテストミル製粉試験及び反射率、アミログラフ、ファリノグラフ、エキステンソグラフの測定は常温乾燥区の出穂後 42（こぎ胴低速回転-作業速度低速区を除く）、45, 48, 50 日目の試料を用いて行った。

2.2.3 結果及び考察

1) 収穫試験

(1) 作物条件及び気象条件の推移

試験区の作物全長は平均 95cm, 収量は水分 13.5%換算で平均 445kg/10a,刈高は平均 13.2cm であった。

試験期間中の気候条件, 穀粒水分, ワラ水分, 穀粒口の完全粒中に占める屑粒の割合, 及び千粒重(水分13.5%換算)を図2-2-1に示す。穀粒水分は47%から18%程度まで減少し, 出穂後45日目を境に乾燥速度が速くなり, 51日目から52日目では約10%の水分減少が認められた。試験期間中は雨天, 曇天が多かったが, 降雨による水分の増加は認められなかった。ワラ水分は60%から45%程度まで減少した。出穂後45日目から48日目にかけて約15%水分が減少し, 以降は45%程度で安定した。千粒重は出穂後50日目まで増加したが, 51,52日目で45~48日目程度まで低下しているため, 圃場全体としては45~48日目には増加が止り, 以降40~41g程度で安定したと考えられる。また, 穀粒口の完全粒中に占める屑粒割合は, 試験期間中に約0.4%から0.1%以下まで減少し, 出穂後48日以降は0.1%以下であった。以上のことから, 登熟は出穂後45~48日目の期間であったと考えられ, 穀粒水分40%程度で登熟するとの既往の研究(松崎ら, 1997a, 1997b, 谷口, 1990, 星野ら, 1991)と合致する結果を得た。

(2) 作業条件の作業精度への影響

収穫試験時の穀粒損失と乾物排ワラ流量の関係を図2-2-2に示す。こぎ胴普通回転区(こぎ歯先端周速度20.9m/s)は損失率3%以下, 低速回転区(こぎ歯先端周速度19.6m/s)は2%以下で推移し, 普通回転区の方が高い損失率を示した。低速回転区ではエンジン回転数を下げたため, コンバイン内部の唐箕の風量が低下し, 排塵口から排出される穀粒が減ったことによると推察される。また, いずれの作業条件下においてもワラ流量が多い方が損失率は低くなる傾向が認め

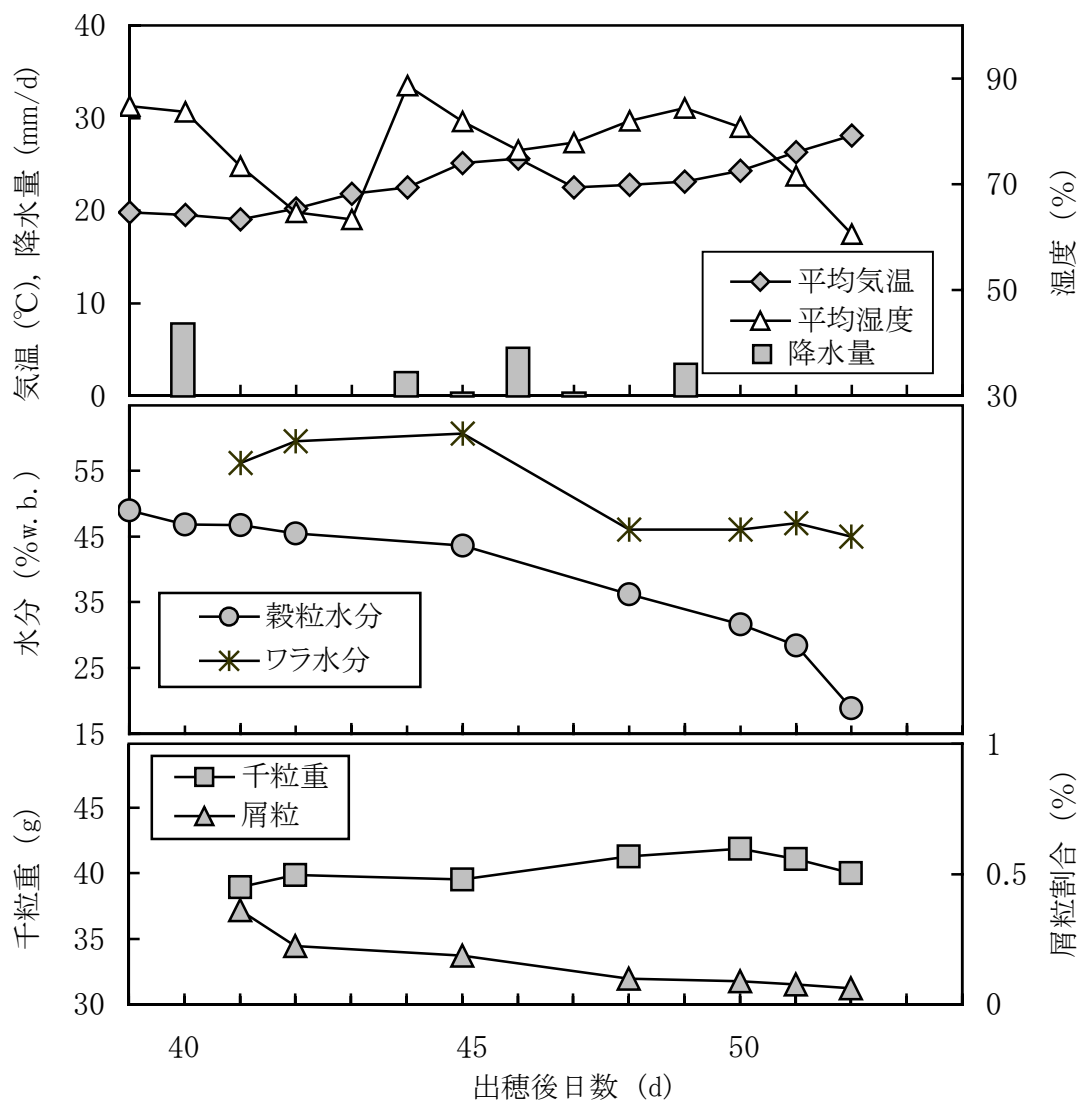


図 2-2-1 気象および作物条件の推移

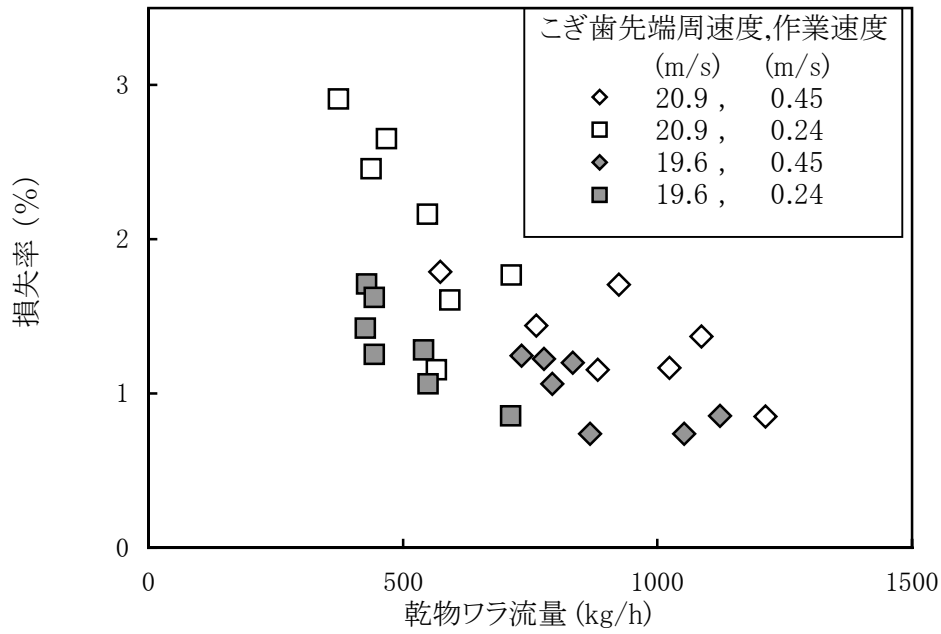


図 2-2-2 ワラ流量と損失率

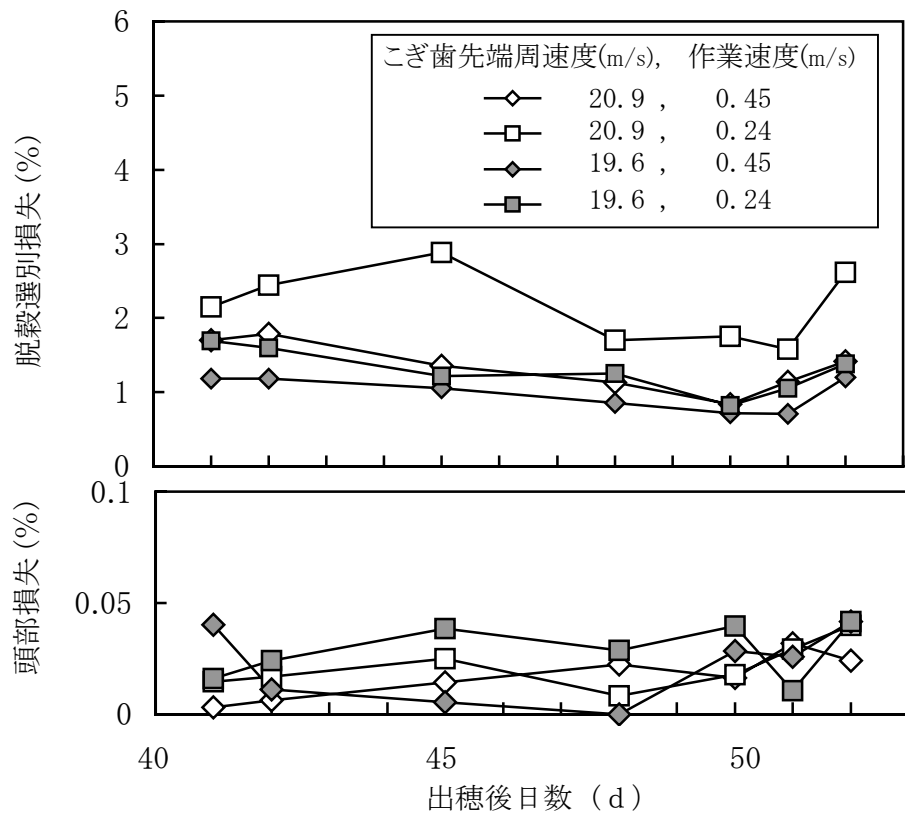


図 2-2-3 穀粒損失の内訳

られた。

穀粒損失の内訳について図2-2-3に示す。頭部損失率が0.05%以下で脱穀選別損失が大部分であった。脱穀選別損失では、こぎ胴普通回転-低速作業区（こぎ胴先端周速度20.9m/s，作業速度0.24m/s）が他の作業条件より高い値で推移した。出穂後45日目には最大値を示し，48日目から51日目までは2%以下となるものの52日目には2.5%以上まで上昇した。他の作業条件では出穂後50日目までは減少傾向を示し，52日目には上昇が認められた。減少傾向は成熟に伴う脱粒性向上による脱穀損失の減少によると考えられ，52日目については乾燥に伴って粒重が軽くなりささり粒等の選別損失が上昇したためと考えられる。

各作業条件における損傷率について図2-2-4に示す。穀粒水分40%以上の出穂後45日目までは損傷率5%近い場合もあったが，48日目以降の穀粒水分40%以下時には0.5%以下であり，水分の減少に伴って損傷率は減少した。出穂後45～48日目の間に登熟，乾燥し，粒が膨軟でなくなったためと考えられる。作業条件については，多少ばらつきはあるもののこぎ胴回転数が同程度ならば作業速度が速い方が，作業速度が同程度ならばこぎ胴回転数が遅い方が損傷率は低くなる傾向が認められた。特に出穂後45日目までの穀粒水分45%以上の時期に顕著であった。また，出穂後45日目にはこぎ胴低速回転-普通作業速度区（こぎ歯先端周速度19.6m/s，作業速度0.45m/s）が高い損傷率を示したが，降雨翌日のため穂の水分条件が不均一であることや粒の流動性の悪さから通常発生しないコンバインのオーガ等でのつぶれ等が生じ，不規則的に損傷粒が増加したと推察される。

穀粒口へのワラ屑混入割合を図2-2-5に示す。成熟による水分減少に伴って，ワラ屑混入割合は減少し，穀粒水分45%程度では混入割合5%程度に達する場合もあったが，穀粒水分40%以下では1%以下であった。包皮粒の減少により選別精度が向上したためと考えられる。また，作業条件による明確な影響は認

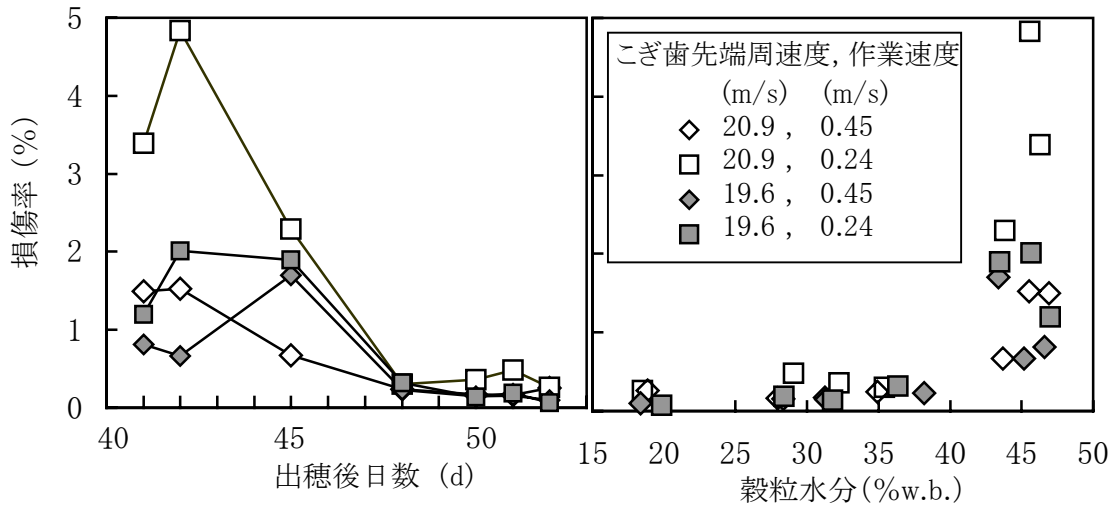


図 2-2-4 出穂後日数および穀粒水分と損傷率

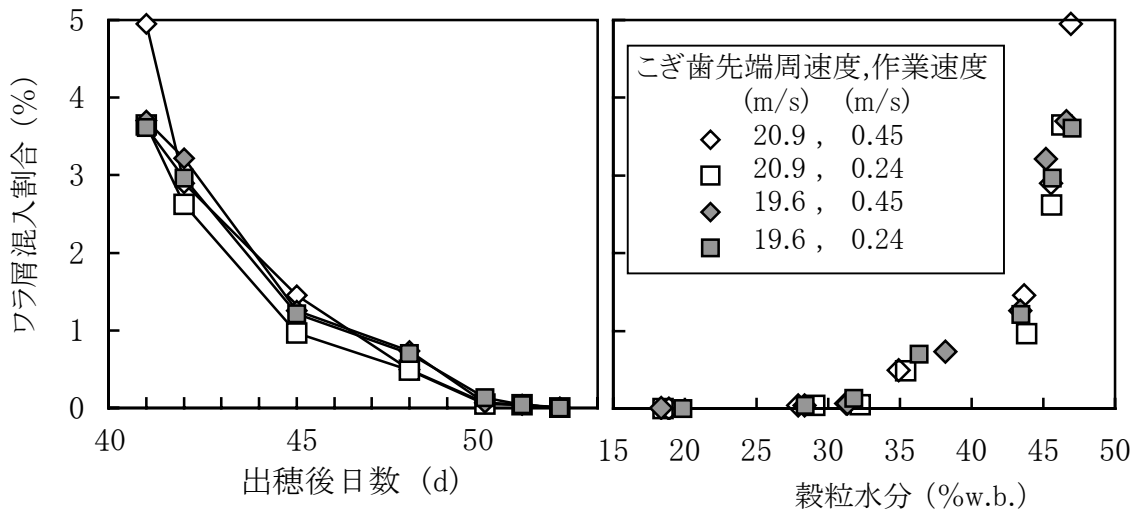


図 2-2-5 出穂後日数および穀粒水分と穀粒口ワラ屑混入割合

められなかった。

2) 品質分析

(1) 原麦品質

原麦について灰分及びタンパク質含量(水分 13.5%換算)を測定した結果を図 2-2-6 に示す。灰分は 1.7%程度で経時的にやや減少傾向、タンパク質含量は 9～10%で経時的にやや増加傾向を示した。既往の研究(佐藤ら, 1999)においても同様の傾向が報告されており、成熟、乾燥に伴う生理的な現象と考えられる。

(2) 加工品質

a 製粉性

ブラベンダーテストミルによる製粉では、バインダ区は歩留 60%程度であった。普通コンバイン区及び自脱コンバイン区は 55～60%程度で、経時的にやや上昇傾向を示した。普通コンバイン区及び自脱コンバイン区はバインダ区と比較して収穫時期による変動があり、収穫作業の違いに要因があると考えられるが、こぎ胴回転数、作業速度による明確な影響は認められなかった。

b 粉色

ブラベンダーテストミルによる製粉試料について、分光測色計を用いて粉色 L^* 、 a^* 、 b^* の測定を行った。また、ビューラーテストミルによる製粉試料について反射率の測定を行った。波長 455nmの反射率(R46)は白度、波長 554nmの反射率(R55)は明るさの指標であり、値が高い方が好ましいとされている。各作業条件の L^* 値と反射率の推移を図 2-2-7 に示す。

普通コンバイン区の L^* 値は 88 程度であった。自脱コンバイン区は 87～88.5 程度で出穂後 48 日目以降急激に上昇した。バインダ区は出穂後 45 日目までは 88 以上、50 日目には 87.5 程度まで低下、その後 88 程度まで上昇した。

普通コンバイン区のこぎ胴普通回転区(こぎ歯先端周速度 20.9m/s)では、

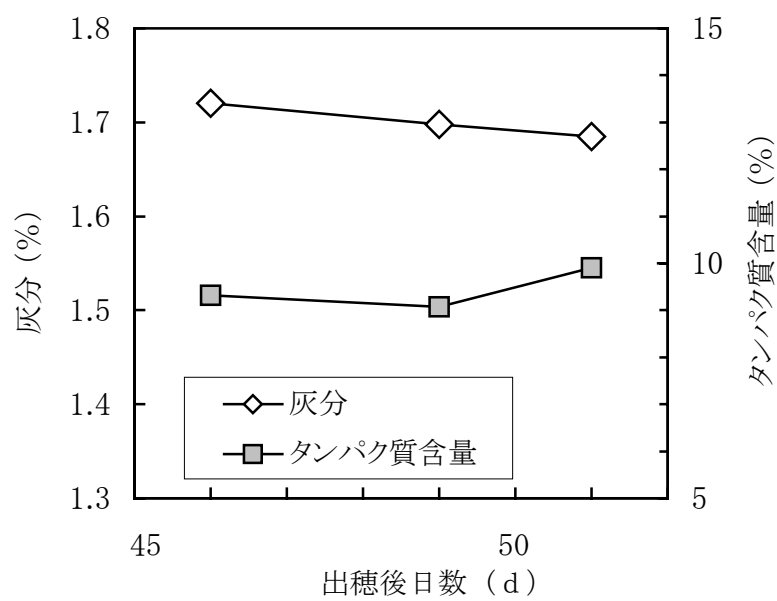


図 2-2-6 出穂後日数と灰分及びタンパク質含量

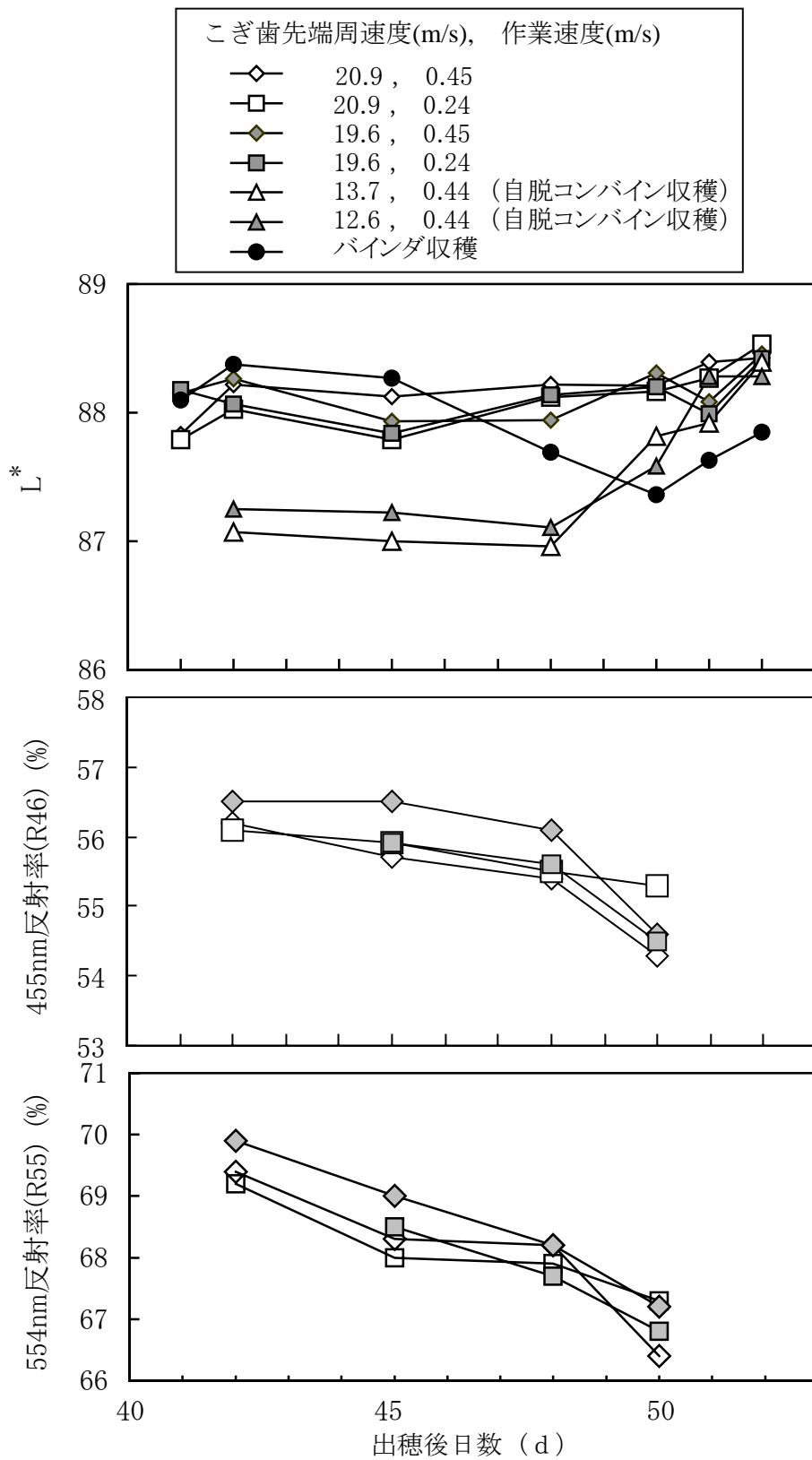


図 2-2-7 粉色L*と反射率の推移

0.05%程度と僅かではあるが、作業速度普通区（作業速度 0.45m/s）が作業速度低速区（作業速度 0.24m/s）より L^* 値が高い値を示した。こぎ胴低速回転区（こぎ歯先端周速度 19.6m/s）では、作業速度普通区（作業速度 0.45m/s）と作業速度低速区（作業速度 0.24m/s）は、出穂後 41 日目及び 52 日目はほぼ同じ値、出穂後 48 日目で逆転が見られたが、42, 45, 50, 51 日目では作業速度普通区より作業速度低速区の L^* 値が高い値を示した。また、こぎ胴普通回転区と低速回転区を比較すると、作業速度普通区ではばらつきが大きく明確な傾向は示されず、作業速度低速区においては出穂後日数 51 日目と 52 日目はこぎ胴普通回転区が値が高く、それ以外は低速回転区の L^* 値が僅かながら高い値であった。

自脱コンバイン区では、出穂後 48 日目までの時期について、こぎ胴低速回転区（こぎ歯先端周速度 12.6m/s）がこぎ胴普通回転区（こぎ歯先端周速度 13.7m/s）より L^* が高い傾向が認められた。

バインダ区は出穂後 45 日目までの穀粒水分 45%以上の時期には普通コンバイン区、自脱コンバイン区と比較して L^* が高い値を示したが、以降は低下し、出穂後 50 日目以降は再び値が上昇するものの、自脱コンバイン区より低い値を示した。

収穫方法別には、穀粒水分 45%程度の出穂後 45 日目までは、バインダ区の L^* が高く、ついで普通コンバイン区、自脱コンバイン区の順であった。以降はバインダ区の低下、自脱コンバイン区の上昇がみられたが、普通コンバイン区は 88 程度でほぼ一定であった。

反射率について、455nm の場合は 54~56.5%程度、554nm の場合は 66~70%程度の範囲で両波長とも経時的に下降傾向を示した。455nm の場合はこぎ胴低速回転-作業速度普通区（こぎ歯先端周速度 19.6m/s、作業速度 0.45m/s）が高い傾向を示した。こぎ胴普通回転区（こぎ歯先端周速度 20.9m/s）及びこぎ胴

低速回転-作業速度低速区（こぎ歯先端周速度 19.6m/s，作業速度 0.24m/s）はほぼ同等の値で推移したが，こぎ胴普通回転-作業速度低速区のみ 50 日目に高い値であった。554nm の場合もこぎ胴低速回転-作業速度普通区（こぎ歯先端周速度 19.6m/s，作業速度 0.45m/s）が他条件より高い傾向を示した。

554nm では作業速度は，出穂後 50 日目のこぎ胴普通回転-作業速度普通区（こぎ歯先端周速度 20.9m/s，作業速度 0.45m/s）を除いて作業速度普通区（作業速度 0.45m/s）が作業速度低速区（作業速度 0.24m/s）より高い値を示した。また，こぎ胴回転数については，作業速度普通区ではこぎ胴低速回転区（こぎ歯先端周速度 19.6m/s）が普通速回転区（こぎ歯先端周速度 20.9m/s）より高い傾向が認められたが，作業速度低速区（作業速度 0.24m/s）では明確な傾向は認められなかった。

経時的には反射率は両者とも低下傾向が見られ，特に 554nm では穀粒水分 45%程度の出穂後 42 日目が最も高く，以後徐々に低下が明確に認められた。なお，成熟が進むとタンパク質含量が増し，粉色が低下するとの報告（本田ら，2001）もあり，降雨による品質劣化と共に成熟による生理的な変化が生じた可能性が考えられる。

以上より粉色について，普通コンバイン収穫の場合，こぎ胴回転数が同程度ならば作業速度が速い方が優れることが L^* 及び反射率の測定で示された。また， L^* 値の測定からは示されなかったが，反射率では作業速度が同程度ならばこぎ胴回転数が低い方が優れる傾向が示された。自脱コンバイン収穫においてもこぎ胴回転数が低い方の粉色が優れた値を示した。また，反射率は経時的な劣化傾向を示し，早期の収穫が望ましいと示唆された。

脱穀時におけるこぎ歯の衝撃による小麦粒の損傷は，微細なものも含めて製粉時にふすまの粉への混入を招き粉色を低下させると考えられる。そのため，こぎ胴回転数が高くこぎ歯による打撃が強い場合や作業速度が遅くこぎ胴内で

打撃を多く受ける場合に粉色が低下したと推察される。

自脱コンバインでは穂のみがこぎ胴を通過するが、普通コンバインではこぎ胴内をワラ全体が通過するため、穀粒の受ける衝撃が緩和され、普通コンバイン区の粉色が自脱コンバイン区より優れたと推察され、膨軟な高水分小麦収穫においては脱穀時の粒への衝撃を低く抑えることが粉色低下の低減に繋がると考えられる。

バインダ区は乾燥前に脱穀による衝撃を受けないため水分 40%以上の出穂後 45 日目までは高いL*値を示したと考えられる。出穂後 48 日目以降の粉色の低下については、他の区では同様の傾向がみられないため、未脱穀の状態での常温通風という乾燥条件により乾燥が遅れ劣化が生じたと推察される。特に出穂後 48 日目以降は水分 40%以下の登熟後であり、登熟前より穂発芽等の劣化の危険性も高いため乾燥遅れによる生理的な変化が粉色に影響したとも考えられるが、詳細は不明である。

c アミログラム

ビューラーテストミル製粉試料について、デンプン品質の指標として普通コンバイン区についてアミログラムの測定を行った。最高粘度は 780~860BU 程度と妥当な範囲であり、作業条件による明確な影響は示されず、ばらつきが大きいものの経時的にやや上昇傾向を示した。

d ラピッドビスコアライザーによる糊化特性試験

ブラベンダーテストミル製粉試料について、RVA によりデンプン品質測定を行った。図 2-2-8 に各作業条件について、デンプン品質の指標となるピーク値の推移を示す。RVA の動作条件は表 2-1-1 のとおりである。いずれの作業条件とも 350~400RVU 程度で推移し、作業条件による明確な傾向の違いは認められなかった。乾燥条件については、いずれの作業条件でも出穂後 42 日目までは加熱乾燥区の値が高く、45 日目はこぎ胴低速回転-作業速度普通区（こぎ歯先端

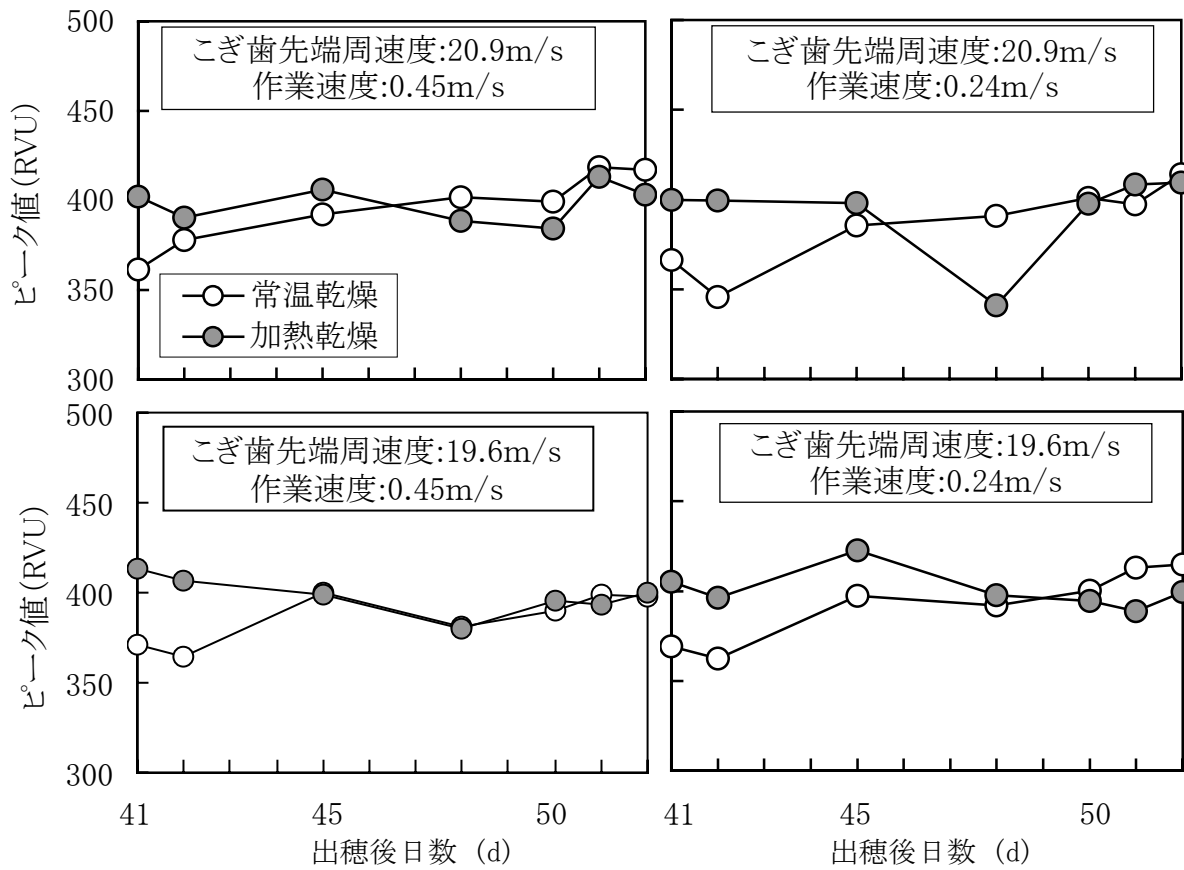


図 2-2-8 ラピッドビスコアナライザー測定によるピーク値の推移

周速度 19.6m/s, 作業速度 0.45m/s) を除き, 加熱乾燥区の値が高かった。出穂後 48 日目以降は, 作業条件毎に傾向が異なり, ばらつきが認められ, 乾燥条件による明確な影響は示されなかった。出穂後 45 日目までは穀粒水分 45% を超えており, 常温乾燥の場合は加熱乾燥より乾燥に時間が掛り, その間にデンプン品質の劣化が進んだと考えられる。それ以降, 成熟が進み穀粒水分 40% 以下になった場合, 乾燥温度の違いによる乾燥速度の違いはデンプン品質に明確な差が認められる程の因子では無くなったと推察される。

本試験では試料 2kg 程度を網袋に入れ, 実験用オーブン及び静置式乾燥機を用いて試料の調整を行ったため, 実際農家や乾燥施設で使われることの多い循環式乾燥機による乾燥とは条件が異なる。実規模の乾燥の問題点については別途検討が必要であるが, 処理量が増すことにより乾燥が長時間化し品質劣化の危険が高まると考えられる。そのため, 本結果では穀粒水分 45% 程度以上の場合に加熱乾燥のピーク値が高い値を示したが, 処理量が増えた場合には 45% より低水分であっても, 乾燥温度による乾燥速度の差が品質に影響して加熱乾燥の方が RVA ピーク値でのデンプン品質が優れる可能性がある。

e ファリノグラム

普通コンバイン区について小麦粉生地特性の指標となるファリノグラム試験を行った結果を図 2-2-9 に示す。吸水率は 51~54% の範囲であり, 出穂後 48 日目にはやや低下したが, 全体としては経時的に上昇傾向を示した。生地形成時間は 1~2 分であった。生地安定度は 0.5~2.0 程度で下降傾向を示した。生地弱化度は 120~150BU 程度, バロリメーターバリューは 32~38 程度であった。

ファリノグラム試験ではいずれの項目も作業条件による明確な影響は認められなかった。経時的には吸水率が上昇傾向, 生地安定度が下降傾向を示し, 収穫時期の早遅による影響が認められた。なお, 生地特性の代表的な値であるバロリメーターバリューは麺用小麦の中力粉では 30~70, 薄力粉では 20 以下,

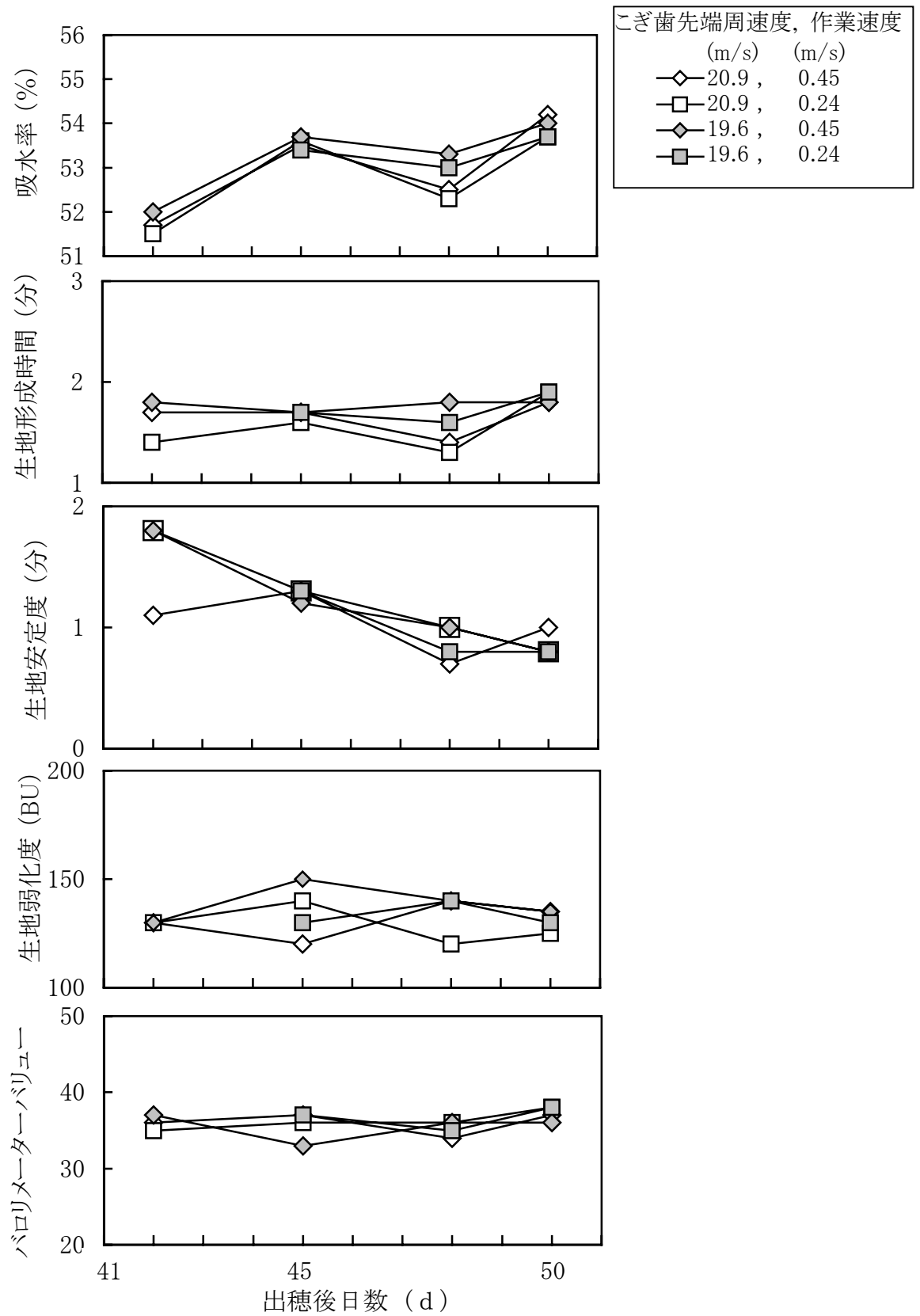


図 2-2-9 ファリノグラム測定結果の推移

強力粉では70以上とされており、本測定結果は、麵用の農林61号として妥当な範囲であった。

f エキステンソグラム

普通コンバイン区について生地 of 伸張特性の指標としてエキステンソグラム試験を行った結果を図2-2-10に示す。面積は70~100 cm²程度で経時的に減少傾向、抵抗力は400~700BU程度で低下傾向、伸張度は90~140mm程度で増加傾向、形状係数は3~8程度で減少傾向を示した。

エキステンソグラム試験では、いずれの項目でも作業条件による明確な影響は認められなかった。麵用の基準では、面積は大きい方が望ましく、降雨害を受けたものは抵抗力が下がり伸張度が増加する傾向があり、形状係数は値が小さいと生地がだれる傾向があるとされている。本測定結果では、収穫時期が遅くなるにつれて品質が低下しており、登熟期から収穫適期に掛けての遭雨によりデンプン品質の劣化が進行したためと推察される。

3) 総合考察

本試験では、作物条件、作業精度の変化から小麦の登熟は出穂後45~48日目の水分40%程度の時期であったと考えられる。

普通コンバイン収穫作業について、供試機では穀粒水分45%程度、ワラ水分60%程度の時期に収穫可能であり、作業精度は穀粒損失3%以下、穀粒損傷は穀粒水分45%以上で最大5%程度、40%以下で1%以下であった。また、作業条件ではこぎ胴回転数を種子穀粒刈取設定など可能な範囲で低回転とし、高水分条件であっても作業中に詰りなどの問題が発生した場合以外は出来るだけ通常 of 速度を落さず作業することで粉色の向上が見込めることが示された。

収穫時期決定に関しては、粉色について普通コンバイン区で、L*値では認められなかったものの、反射率が経時的に低下傾向を示し、穀粒水分40%以上であっても早期の収穫の値が優れるとの結果を得た。しかし、千粒重及び屑粒割合

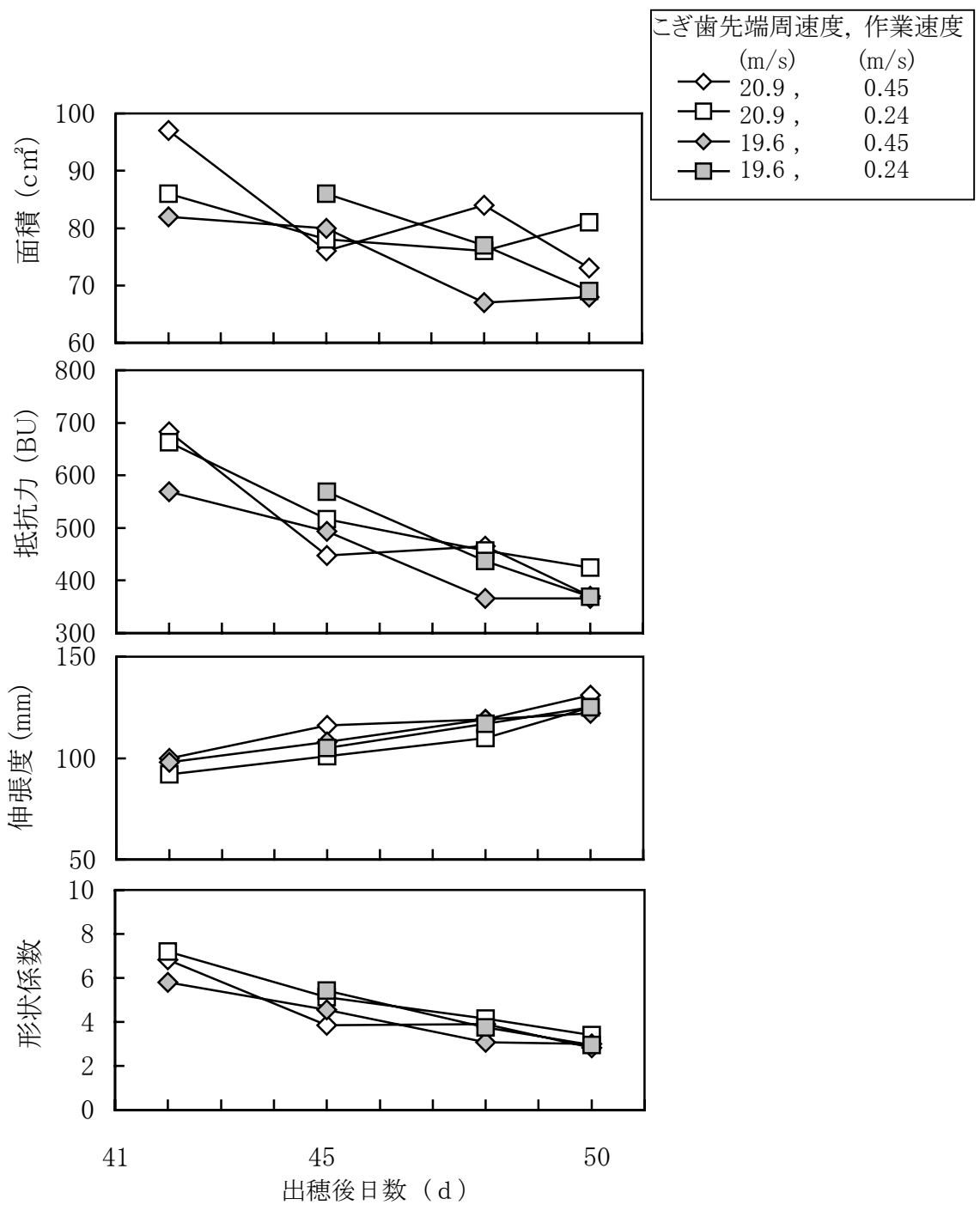


図 2-2-10 エキステンソグラム測定結果の推移

等の作物条件，作業精度，また，収穫後における乾燥作業中の品質劣化の危険性から登熟後の穀粒水分 40%以下となった時期の収穫が望ましい。

登熟期から降雨がちな場合にはデンプン品質及び生地特性は収穫時期を通して低位で推移し，遭雨により劣化を進めないために収穫が急がれると同時に収穫後の乾燥過程における更なる品質劣化を抑えるために乾燥能力の余裕を見て収穫する必要がある。具体的には，多くの乾燥機では対象水分を 30%以下としているので，30%以上の穀粒を乾燥させる場合には投入量を少なくして乾燥能力に余裕をもたせ，また高水分小麦は流動性が悪く，夾雑物も多いため乾燥機内でブリッジを起す危険があり十分に留意する必要がある。また，乾燥条件については，乾燥遅れによる劣化を引起す可能性のある常温通風乾燥よりも，加熱乾燥によって迅速に乾燥させるほうが望ましい。その場合，穀温を高水分条件でも熱損傷を起さない 40℃程度に抑える必要がある(佐々木，1982b)。

2.3 まとめ

穀粒水分 30～45% (自脱コンバイン) 及び穀粒水分 18～47% (普通コンバイン) の高水分小麦収穫試験を行い，収穫時期，作業条件及び乾燥条件について，作業精度及び品質の面から検討を行い，以下の知見を得た。

1) 自脱コンバインにて穀粒水分 45%程度の高水分小麦は機械的に収穫可能であった。その際，作業精度は穀粒口へのワラ屑の混入率は最大約 5%，穀粒損失は最大約 2%，損傷率は最大約 1%であった。

また，普通コンバインにおいても，穀粒水分 45%程度の高水分小麦は機械的に収穫可能であった。その際，作業精度は穀粒口へのワラ屑の混入率は最大約 5%，穀粒損失最大約 3%，穀粒損傷は穀粒水分 45%以上で最大 5%程度，40%以下で 1%以下であった。

2) 自脱コンバインでは，こぎ胴回転数を種子採取時（こぎ歯先端周速度

12.6m/s)程度まで低下させ、通常の作業速度(作業速度0.44m/s)にて収穫することにより、バインダ収穫の場合と比較して色差0.6以内の良好な粉色を得られた。

普通コンバインでも、特に高水分期に置いて作業速度を落さず収穫することで粉色が改善できた。また、こぎ胴回転数を10%程度低下させた場合、粉色に関してL*値の明確な改善は見られなかったが、反射率の改善が認められた。

3) 40℃の加熱通風乾燥を行った場合、穀粒水分40%程度での降雨前収穫により、穀粒水分30%程度での降雨以後収穫と比較して、粉色及び加工適性の高い小麦を得ることが可能であった。

4) 粉色の指標である反射率は穀粒水分40%以上の登熟前の時期も含め早期収穫の値が高いが、千粒重及び屑粒割合等の作物条件、作業精度、乾燥作業中の品質劣化の危険を考慮すると、登熟後の穀粒水分40%以下となった時期の収穫が望ましいと判断される。

5) 穀粒水分45%程度の高水分小麦では、熱損傷を起しにくい40℃程度での加熱乾燥を行った場合、乾燥遅れから品質劣化し易い静置式常温通風乾燥に比べ加工適性に影響するデンプン品質が高い小麦を得ることができた。

第3章 形状特性に基づく小麦の水分選別の可能性

3.1 粒厚と水分の関係

3.1.1 はじめに

小麦は降雨による倒伏、穂発芽等を避けるため、通常推奨されているコンバイン収穫適期以前に穀粒水分が30%を超える状態で収穫されることも多い。さらに、第2章で検討したように、近年のコンバインでは40%近い穀物水分でも収穫可能であるため（金井，2005a，金井ら，2005b），高水分小麦へ対応した乾燥調製技術が望まれている（玉城，2005）。

実際に穀粒水分30%以上で早刈りされた高水分小麦は、成熟途上の緑粒も含まれ成熟度も一様でなく、水分分布も20%台から40%以上までの広い範囲に渡っている。品質劣化を生じさせない加熱温度の限界は水分により異なるため、水分分布幅が広いことによって乾燥条件の最適化が困難となり、乾燥調製作業が難しい一因となっている。

しかし、ここで水分毎に小麦を選別できれば各々の水分に応じて適切な乾燥条件で乾燥させることができ、乾燥工程における品質劣化の回避及び効率化が期待できる。

小麦粒は高水分では膨満で粒厚が大きく、低水分では粒厚が小さいというように水分含量が粒厚に直接反映することが経験的に知られている。したがって、粒厚で選別することにより水分選別を実現できる可能性がある。乾燥工程後の小麦について粒厚毎に成分分析を行った報告（星野ら，1994）はあるが、乾燥工程前の小麦を粒厚選別した報告はないため、水分選別の成否も含め不明である。

そこで、本章においては水分別乾燥技術の開発に向けた基礎的な知見を得るため、選別粒厚の決定に必要な粒厚と水分の関係の把握及び回転式選別機を利用した水分選別技術の可能性を検討した。

3.1.2 試験方法

1) 乾燥前後の粒厚分布の測定

茨城県つくば市の中央農業総合研究センターの実験圃場にて慣行の栽培を行った小麦（農林 61 号）を平均穀粒水分約 45% から 20% 以下の時期（出穂後 50 日目～58 日目，2004 年 6 月 8 日～16 日）まで普通コンバイン（ヤンマー農機製 GS320GE）にて収穫した。収穫した小麦から無作為に抽出した 7～10kg 程度の試料について，収穫直後に食糧庁規格縦目篩（不二金属製食糧庁規格穀粒粒度選別機，写真 3-1-1）を用いて粒厚選別し，それぞれを網袋に入れ静置式通風乾燥機（金子農機 KFA-480B）で穀粒水分 12% 以下まで常温通風乾燥した後に再びそれぞれを同篩にて粒厚選別し粒厚分布の測定を行った。水分測定は 10g 粒-135℃-24h 法にて行い，湿量基準で表記した。

2) 粒厚毎の単粒水分分布の測定

実験圃場にて慣行の栽培を行った小麦を平均穀粒水分約 45% から 20% 以下の時期（出穂日未計測）まで手刈りにより採取した。試料は試験用小型脱穀機（白川農機具製）にて脱穀後，200g～300g を食糧庁規格縦目篩を用いて粒厚選別し，粒厚毎に単粒水分計（静岡精機 CTR800E1）で粒数と水分の測定を行った。供試材料として，「あやひかり」（2001 年収穫）及び「農林 61 号」（2002 年収穫）を用いた。

3) 回転式選別機を用いた粒厚に基づく水分選別試験

2002 年から 2004 年にかけて毎年，実験圃場にて慣行の栽培を行った小麦（農林 61 号）を平均穀粒水分約 45% から 30% 以下の時期まで収穫した。2002 年は自脱コンバイン（三菱農機製 VM2）のみ，2003 年及び 2004 年は普通コンバイン（ヤンマー農機製 GS320GE）も併用して収穫した。コンバインの脱穀方式が粒厚と水分の関係に影響を与えることは考えられないため検討は行わなかった。収穫直後の試料 5～10kg を回転式選別機（タイガーカワシマ製 A33，写真 3-1-2）

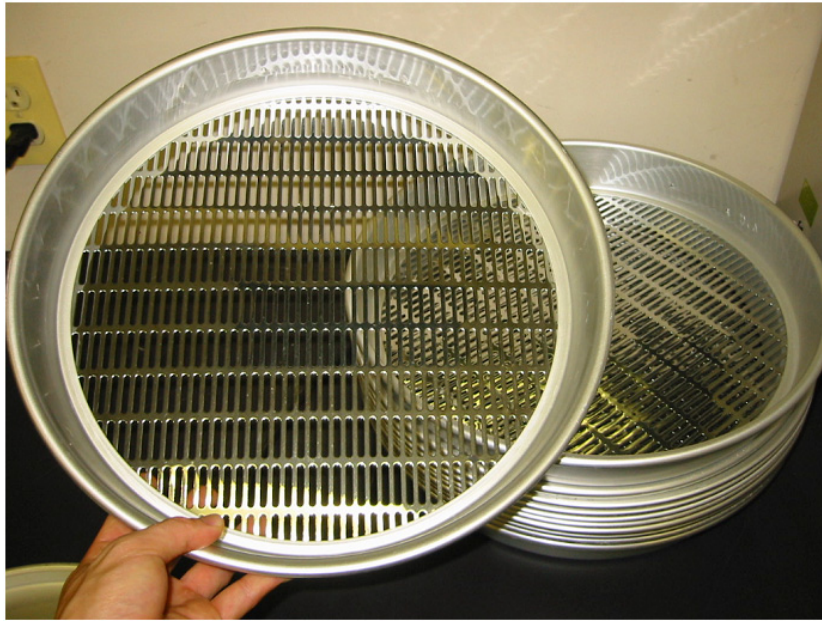


写真 3-1-1 食糧庁型縦目篩の選別網



写真 3-1-2 回転式選別機（タイガーカワシマ製 A33）

を用いて粒厚選別し、選別前後で水分測定を行った。選別には目開き 3.0mm (2002 年収穫), 3.2mm (2003 年収穫), 3.4mm (2004 年収穫) の篩を用いた。

また、3.2mm 粒厚選別試験時に選別処理能率の測定を行った。ホップの満量 (穀粒 10kg 程度) まで供給し、ホップが空になるまでの時間を計測し、1 時間当りの処理量を求めた。1 回の収穫について 4 反復測定を行った。なお、実験に際しては流動性の悪い高水分小麦を投入してもブリッジを起さないよう回転式選別機のホップの開口部を拡大する改造を施し実験に供試した。

3.1.3 結果及び考察

1) 乾燥前後の粒厚分布の変化

表 3-1-1 に収穫直後の乾燥前の粒厚分布, 及び乾燥後 10℃の冷蔵庫内にて約 1 ヶ月経過した後の粒厚分布を粒数の割合で示した。また, 表 3-1-2 に乾燥後の粒厚減少幅を階級代表値の差で示した。

収穫直後で乾燥前の粒厚分布について, 2.4~2.8mm が占める粒数割合は出穂後 50 日目 (2004 年 6 月 8 日) 収穫の小麦では 9.2%であったが, 58 日目には 54.4%まで増加した。2.8~3.2mm は出穂後 50 日目の 40.9%から 56 日目の 66.5%までは増加したが, 58 日目には 30.5%まで減少した。3.2~3.6mm は出穂後 50 日目の 39.5%から 58 日目には 0.9%まで減少した。これより乾燥前粒厚分布は経時的に小さくなっていることが認められる。また, 同様にそれぞれの乾燥後粒厚階級についても, その乾燥前粒厚分布は経時的に小さくなっていることが認められる。成熟による水分の減少に伴って, 収穫時の粒厚が減少したためと推察される。

乾燥後の粒厚分布について, 2.0~2.4mm が占める粒数割合は出穂後 50 日目収穫の小麦では 35.8%であったが, 58 日目には 18.1%まで減少した。2.4~2.8mm は 50 日目の 56.7%から 58 日目には 68.8%まで増加した。成熟による粒の充実に伴って, 乾燥後の粒厚が増加したと推察される。

表3-1-1 収穫時平均水分と乾燥前後の粒厚分布

	乾燥前粒厚分布		乾燥後粒厚分布の粒数割合(%)			
	粒厚階級(mm)	粒数割合(%)	0-2.0	2.0-2.4	2.4-2.8	2.8-3.2 (mm)
出穂後50日目 (2004/6/8) 収穫 水分43.1%	0-2.0	0.2	0.2	0.0	0.0	0.0
	2.0-2.4	1.1	0.8	0.3	0.0	0.0
	2.4-2.8	9.2	1.1	7.5	0.6	0.0
	2.8-3.2	40.9	0.8	19.3	20.8	0.0
	3.2-3.6	39.5	0.2	7.3	28.7	3.3
	3.6-4.0	6.7	0.1	1.0	4.7	0.9
	4.0-	2.5	0.0	0.3	1.9	0.2
合計	100.0	3.1	35.8	56.7	4.4	
出穂後53日目 (6/11) 収穫 水分40.2%w.b.	0-2.0	0.2	0.2	0.0	0.0	0.0
	2.0-2.4	2.7	1.3	1.4	0.0	0.0
	2.4-2.8	14.7	0.4	12.2	2.1	0.0
	2.8-3.2	58.8	0.3	13.1	43.7	1.6
	3.2-3.6	18.1	0.0	2.0	14.3	1.8
	3.6-4.0	4.6	0.0	0.6	3.2	0.8
	4.0-	0.9	0.0	0.1	0.7	0.1
合計	100.0	2.4	29.3	64.0	4.3	
出穂後56日目 (6/14) 収穫 水分33.2%w.b.	0-2.0	0.3	0.3	0.0	0.0	0.0
	2.0-2.4	3.7	0.9	2.8	0.0	0.0
	2.4-2.8	17.4	0.2	11.3	5.9	0.0
	2.8-3.2	66.5	0.2	7.7	50.8	7.8
	3.2-3.6	9.4	0.0	0.6	5.9	2.8
	3.6-4.0	2.5	0.0	0.1	1.4	1.0
	4.0-	0.2	0.0	0.0	0.1	0.1
合計	100.0	1.7	22.5	64.1	11.7	
出穂後57日目 (6/15) 収穫 水分24.8%w.b.	0-2.0	0.7	0.7	0.0	0.0	0.0
	2.0-2.4	7.3	0.9	6.4	0.0	0.0
	2.4-2.8	29.2	0.1	10.5	18.5	0.0
	2.8-3.2	57.4	0.1	4.1	41.5	11.7
	3.2-3.6	4.6	0.0	0.2	1.1	3.4
	3.6-4.0	0.7	0.0	0.0	0.4	0.3
	4.0-	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
合計	100.0	1.9	21.2	61.4	15.4	
出穂後58日目 (6/16) 収穫 水分16.9%w.b.	0-2.0	0.9	0.9	0.0	0.0	0.0
	2.0-2.4	13.2	0.4	12.7	0.1	0.0
	2.4-2.8	54.4	0.0	4.9	49.5	0.0
	2.8-3.2	30.5	0.0	0.4	18.8	11.3
	3.2-3.6	0.9	0.0	0.1	0.5	0.4
	3.6-4.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	4.0-	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
合計	100.0	1.3	18.1	68.8	11.8	

表3-1-2 乾燥後の粒厚減少幅

	収穫日(出穂後日数)				
	50日目	53日目	56日目	57日目	58日目
同階級	1.1	5.4	16.7	37.4	74.5
1階級(0.4mm)減少	32.3	59.0	65.9	56.3	24.5
2階級(0.8mm)減少	50.0	28.6	14.9	5.5	0.9
3階級(1.2mm)減少	13.0	5.6	2.2	0.7	0.1
4階級(1.6mm)減少	3.1	1.3	0.3	0.0	0.0
2階級(2.0mm)減少	0.4	0.1	0.0	0.0	0.0

表 3-1-2 より乾燥後の粒厚減少幅については、50 日目収穫の小麦では乾燥前後で同階級のものは全体の 1.1%，乾燥後に乾燥前の 2 階級下まで減少するものが 50.0%あったが、58 日目収穫の小麦では乾燥前後で同階級のものが 74.5%，2 階級減少するものは 0.9%となった。収穫時の水分が減少することにより、乾燥前後での水分変化量が減ったため、粒厚の変化量も減少したと考えられる。

2) 粒厚毎の単粒水分分布

図 3-1-1 に粒厚毎の水分分布の推移を示す。2001 年 6 月 8 日（出穂日不明，以下 6/8 と略記）には平均水分は 33.9%であったが、穀粒全体の水分分布は 20%以下から 40%以上に渡った。内訳に着目すると、水分 43%を中心とするピークは主に粒厚 3.2~3.6mm の階級以上で構成され、水分 20%~35%程度の穀粒は主に粒厚 2.8~3.2mm 以下の階級から構成されていた。

6/10 には平均水分は 27.7%であったが、穀粒全体の水分分布は 20%以下から 40%程度に渡った。内訳に着目すると、水分 39%を中心とするピークは主に粒厚 3.2~3.6mm の階級以上から構成され、水分 23%を中心とするピークは主に粒厚 2.8~3.2mm の階級以下から構成されていた。

6/13 には平均水分は 16.9%で、穀粒全体の水分分布も水分 17%がピークであった。内訳についてみると、水分 17%をピークとする粒厚 2.8~3.2mm の階級と水分 15%をピークとする粒厚 2.4~2.8mm 及び 2.4mm 以下の階級により構成されていた。

このように、成熟に伴う乾燥の過程で、初めに高水分側にあったピークが 2 極化し、低水分側に移行するという現象は、水稻の籾でも報告されている（森下ら，1990）。

一般的に、立毛時における乾燥速度が成熟過程を通して同じであれば水分分布においてはピークが 1 つのまま徐々に低水分側に移動すると考えられるが、乾燥速度が「遅-速-遅」と変化すると「速」の部分にあたる水分の穀粒は少な

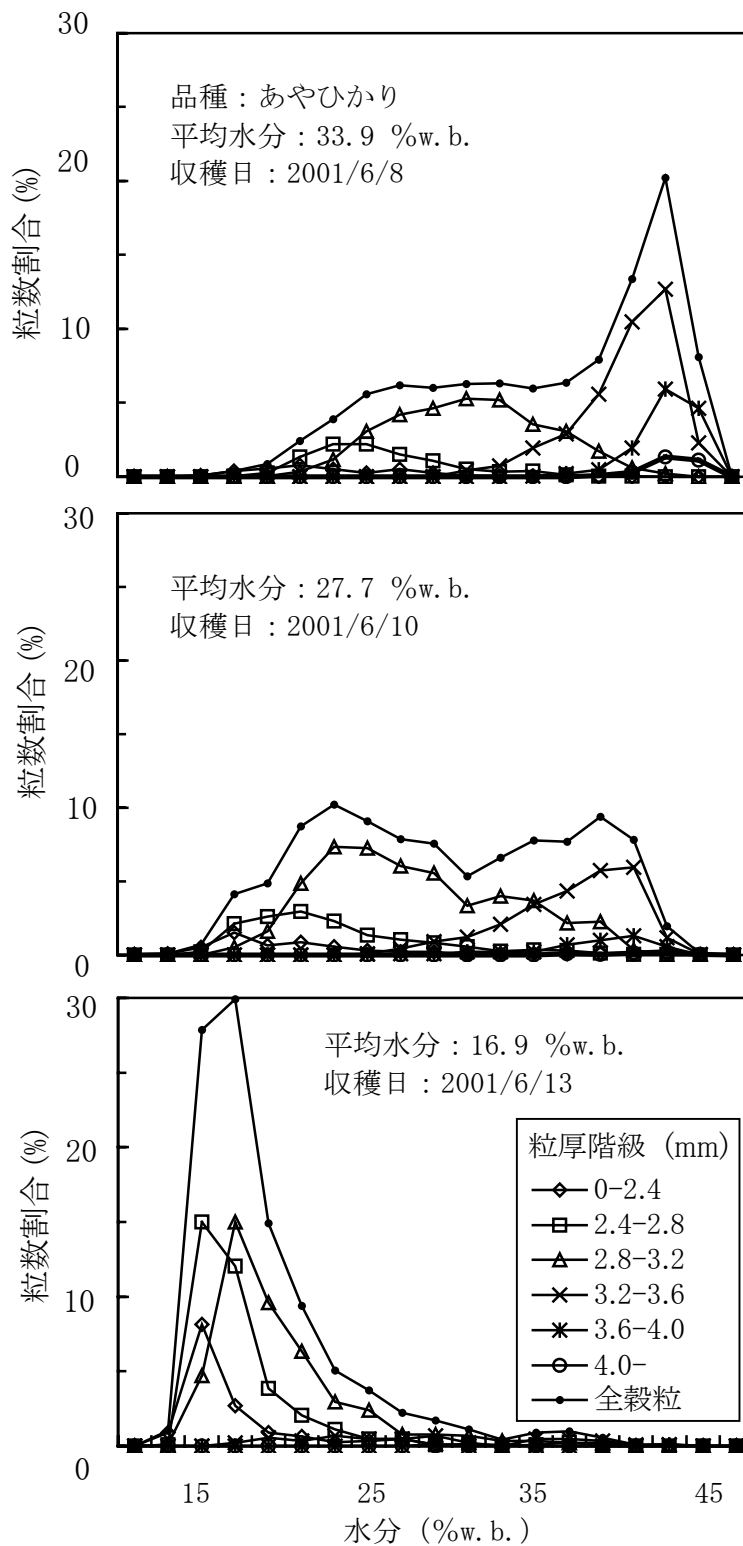


図 3-1-1 粒厚別の単粒水分分布の推移

くなるため、ピークは高水分側と低水分側に2つ生じると考えられる。小麦粒の場合は穀粒水分40%を下回る時期に成熟し、乾物重増加もほぼ停止した後、急速に乾燥し完熟するため、乾燥速度は上述の「遅-速-遅」となると推察される。そのため、図3-1-1のようにピークが2極化したと考えられる。

図3-1-2に粒厚階級毎の平均水分について、経時的な変化を示す。2001/6/8から6/13までは粒厚の階級が大きいほど階級の平均水分が高い傾向が認められたが、6/25ではいずれの階級も13%程度となった。また、隣接する階級間の水分差は2.8~3.2mmと3.2~3.6mmの階級間が6/13を除いて最も大きく、高水分小麦を高水分と低水分に二分する場合には、篩目をそれぞれの階級値である3.0mmから3.4mm程度に設定することによって水分選別を有効に行うことができると考えられる。なお、2002年には「農林61号」を用いて同様の試験を行い、上述の2001年収穫の「あやひかり」の場合とほぼ同様の結果を得た。

3) 回転式選別機を用いた粒厚に基づく水分選別試験

目開き3.0, 3.2, 3.4mmの回転式選別機を用いた粒厚による水分選別試験の結果を図3-1-3に示す。横軸に粒厚選別前の平均穀粒水分、縦軸に選別後の篩上に残留した小麦及び篩下に漏下した小麦の平均穀粒水分をそれぞれ示した。いずれも篩上に残留した粒厚の大きいものの方が常に平均穀粒水分が高く、目開き3.0mmで選別した場合は篩上残留小麦の平均水分と篩下漏下小麦の平均水分の最大差は約6%(選別前平均水分約37%時)であった。また、目開き3.2mmで選別した場合は平均穀粒水分約30%時で約5%、目開き3.4mmの場合は平均穀粒水分約25%時で約8%であった。水分選別という観点からは篩上下での水分差の大きい方が有効と考えられ、水分差の大きい順に目開き3.4mm, 3.0mm, 3.2mmとなった。

図3-1-4に篩上に選別された穀粒の乾物質量割合を算定した結果を示す。なお、ここで乾物質量を用いたのは、湿量基準とすると篩上の方が高水分のため

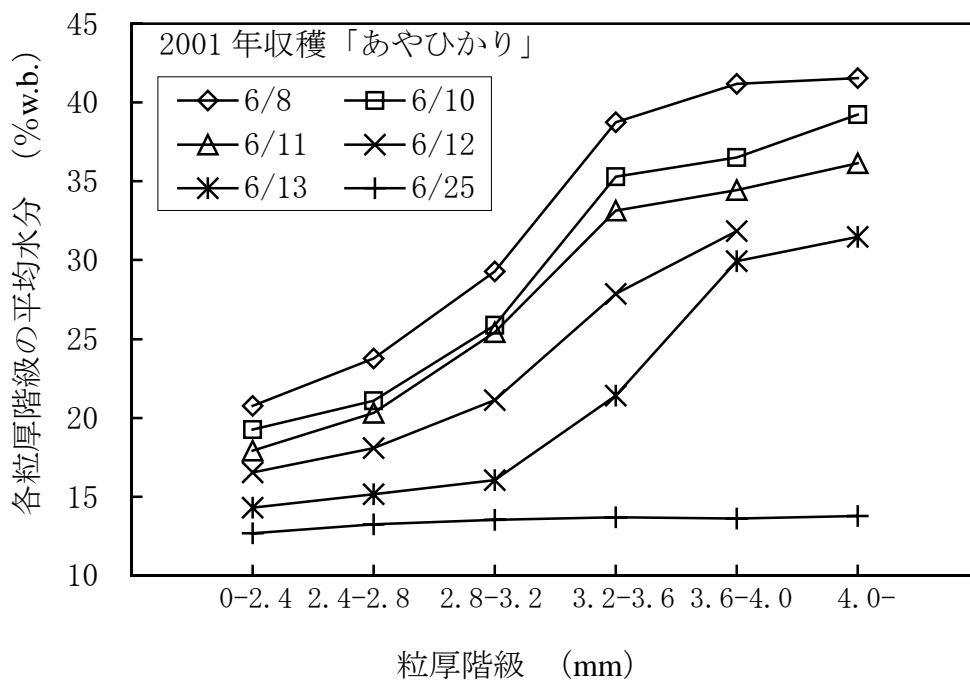
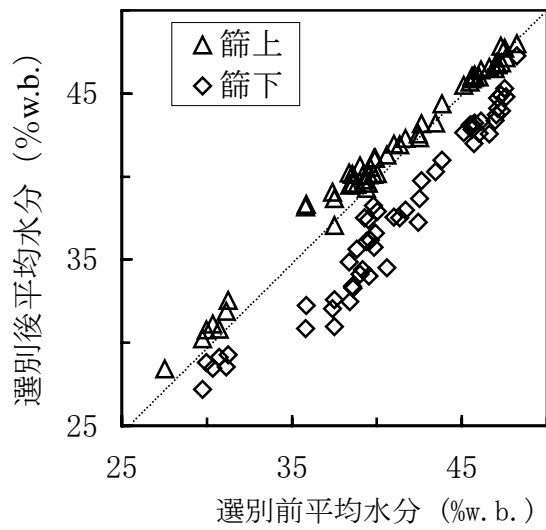
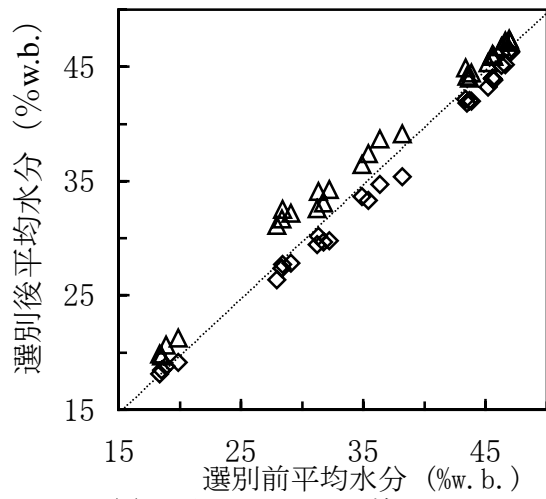


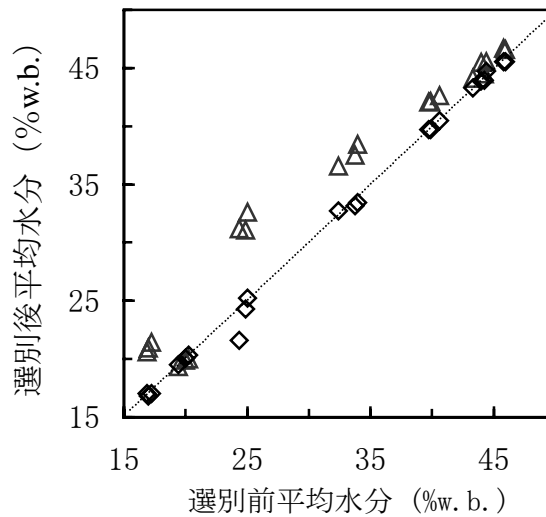
図 3-1-2 粒厚階級毎の平均水分の変化



(a) 目開き 3.0mm の篩にて選別



(b) 目開き 3.2mm の篩にて選別



(c) 目開き 3.4mm の篩にて選別

図 3-1-3 粒厚選別前後の平均水分

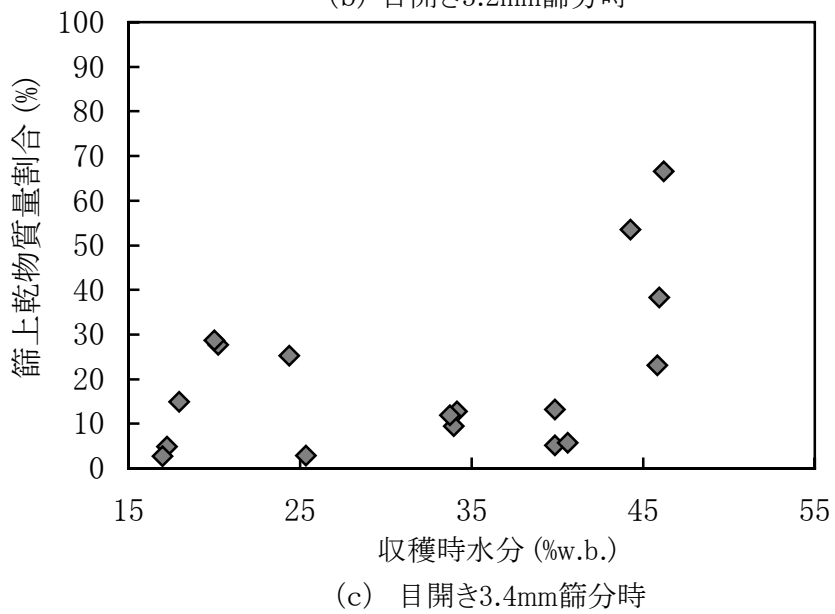
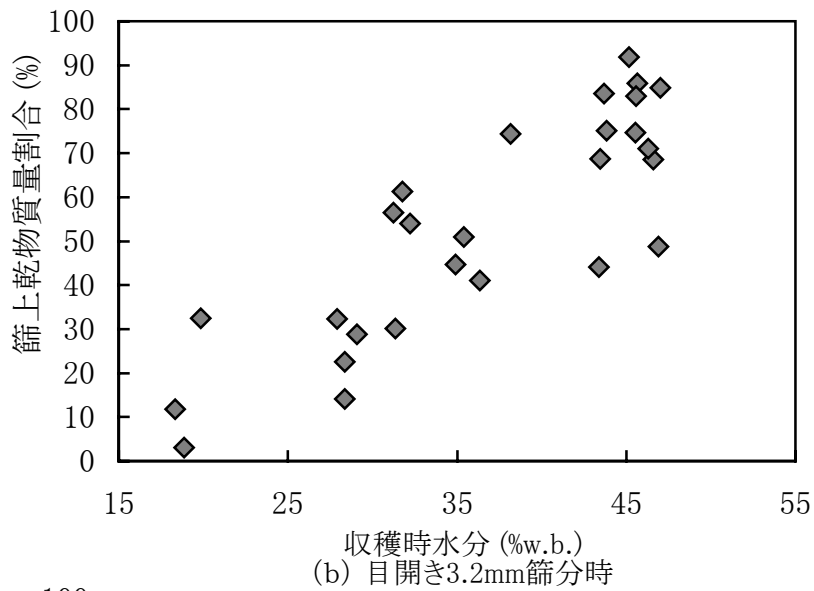
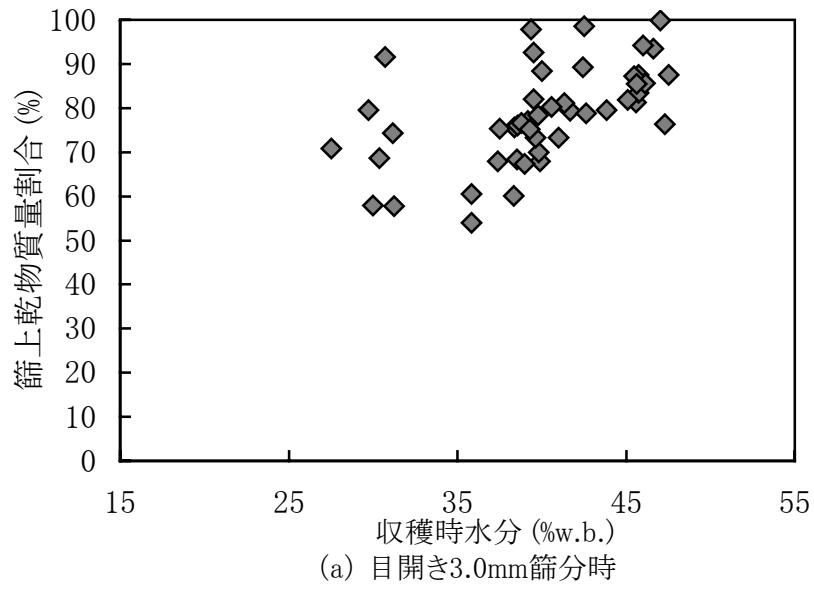


図 3-1-4 収穫時平均穀粒水分と篩上残留穀粒の乾物質量割合

選別割合の目安とはならず、水分 13.5%換算を用いると任意の水分での質量割合を計算する場合煩雑となるためである。

算定式は、篩上穀粒の乾物質量割合を $a\%$ 、選別前の平均穀粒水分を $B\%$ 、水分質量 W_B kg、乾物質量 M_B kg、選別後の篩上水分を $H\%$ 、水分質量 W_H kg、乾物質量 M_H kg、篩下水分を $L\%$ 、水分質量 W_L kg、乾物質量 M_L kgとすれば、

$$a/100 = M_H/M_B \quad (1)$$

となる。

$$\text{ここで、 } B/100 = W_B / (W_B + M_B) \quad (2)$$

$$H/100 = W_H / (W_H + M_H) \quad (3)$$

$$L/100 = W_L / (W_L + M_L) \quad (4)$$

である。

また、

$$W_B = W_H + W_L \quad (5)$$

$$\text{かつ } M_B = M_H + M_L \quad (6)$$

であるから、式 (1) は、

$$a/100 = (B-L)(100-H)/(H-L)(100-B) \quad (7)$$

となる。

ばらつきはあるものの、目開き 3.0mm 及び 3.2mm の場合には高水分時には篩上、低水分時には篩下に多く選別される傾向が認められた。図 3-1-4(a)より目開き 3.0mm の場合は、選別前の平均穀粒水分 30%の時は篩上に残留する穀粒の乾物質量割合は 50~90%程度、水分 45%の時は 70~100%程度であった。図 3-1-4(b)より目開き 3.2mm の場合は、平均穀粒水分 20%では篩上に残留する穀粒の乾物質量割合は 10~30%程度、平均穀粒水分 45%では約 70%、水分 35%では 50%程度であった。図 3-1-4 (c) より目開き 3.4mm の場合には平均水分 45%付近で篩上の乾物質量割合の最大値を示したが、平均水分 15~40%では乾

物質量割合は 30%以下の値を示し、ばらつきが大きく一般的な傾向は不明であった。

以上の結果より、目開き 3.2mm では篩の上下で小麦の水分差は最大 5%程度と他の目開きの場合と比較して小さいが、水分 35%程度の時期にほぼ均分することができた。小麦は水分 40%を下回れば成熟していると判断できるため、水分 35%時にほぼ均分できる目開き 3.2mm の篩は、二分割の水分選別乾燥を行う場合には適当である。

穀粒水分と選別能率について表 3-1-3 に示す。供試した選別機では、乾燥工程後の小麦の選別能力は最大約 900kg/h とされるが、表によると乾燥工程前の高水分小麦の選別能力はその 3 割程度に留まっている。平均水分 30%以上の小麦では流動性が悪いことにより選別能率が大きく低下したと考えられる。また、最大能率と最低能率の差は 100~150kg/h と大きくばらつき、検討を行った水分範囲では、平均穀粒水分と選別能率の一般的な関係を判断するのは難しいが、平均穀粒水分が 31.6%時に最大能率、最低能率、平均能率とも他の場合より高く、乾燥が進んだものは能率が高い可能性が示唆された。

以上、水分選別乾燥技術の開発に向け基本的な知見が得られたものの、実用化に向けた今後の課題として、粒厚選別が最終的な製品である小麦粉品質に与える影響の評価及び水分選別後の高水分（篩上残留）小麦、低水分（篩下漏下）小麦のそれぞれに適切な乾燥条件を明らかにすることが必要である。

表 3-1-3 篩分能率

平均水分(%)	45.5	43.6	36.2	31.6	乾燥時(仕様)
最大能率	319	381	334	423	-
最低能率	189	258	236	271	-
平均能率	239	306	284	317	900

能率:kg/h

3.2 粒厚選別の原麦成分への影響

3.2.1 はじめに

平成 19 年度から小麦の等級検査において、灰分、タンパク含量などの原麦の品質基準が厳しくなる見通しであり、粒厚選別による水分別乾燥技術についても品質への影響を検討する必要がある。

本項では 3.1 に基づき選別粒厚を 3.2mm とした場合について、回転式粒厚選別機にて高水分小麦の選別試験を行い、粒厚選別による水分別乾燥が原麦成分に与える影響について検討した。

3.2.2 試験方法

標準的な栽培を行った小麦（農林 61 号）を穀粒水分約 45% から 30% 以下の時期まで、出穂後 41 日目（2003 年 6 月 9 日）から 52 日目（6 月 20 日）まで採取した。収穫直後の試料 5～10kg を目開き 3.2mm の篩を用いて回転式粒厚選別機（タイガーカワシマ製 A33）にて選別し、篩上に残留したものを篩上区、篩下に漏下したものを篩下区とした。また、対照として選別を行わない無選別区を設けた。水分測定は 10g 粒-135°C-24h 法により行った。その後、40°C に設定したオーブン（エスペック製 LHU-113）内で 24 時間乾燥し、次いで平型乾燥機（金子農機 KFA-480B）で 24 時間常温通風乾燥を行い、10°C に設定した冷蔵庫にて製粉までの約 3 ヶ月間保存した。原麦のタンパク含量、灰分については（財）日本穀物検定協会に測定を依頼した。

3.2.3 結果及び考察

篩分前後の水分の推移を図 3-2-1 に示す。常に篩上区の水分が篩下区より高く、無選別区はその間の水分であり、粒厚選別による水分選別が可能であることが示された。また、収穫時期が早い場合には、無選別区と篩上区の水分が近くなり、収穫時期が遅くなるにつれて無選別区と篩下区の水分が近くなる傾向が認められた。収穫前期は高水分で粒厚が大きいため篩上に残留する粒が多く

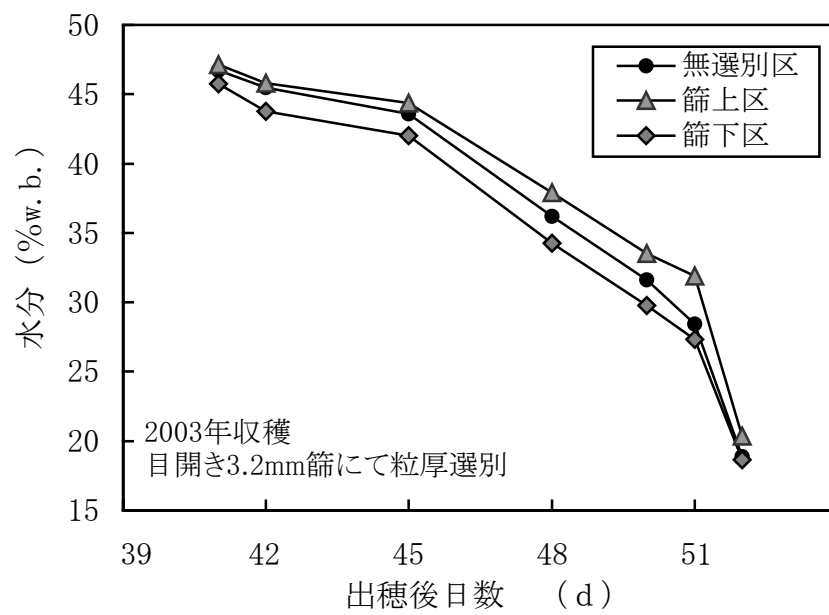


図 3-2-1 粒厚選別前および選別後の平均水分の推移

なり，収穫後期では成熟に伴う乾燥により粒厚が減少し，篩下に漏下する粒が多くなるためと考えられる。

原麦の灰分及びタンパク質含量の推移を図 3-2-2 に示す。灰分，タンパク含量とも篩上区が篩下区より常に高く，無選別区はその中間の値であった。篩上下で灰分は平均 0.05%，タンパク含量は平均 0.6%の差があった。成熟に伴い，灰分はやや下降傾向，タンパク質含量は上昇傾向を示して推移した。

3.3 まとめ

水分別乾燥技術の開発に向けた粒厚による水分選別技術に関して，選別粒厚と水分の関係及び回転式選別機を利用した水分選別，3.2mm にて粒厚選別した際の原麦成分について検討し，以下の知見を得た。

- 1) 収穫時期が遅くなるに従い，乾燥前の粒厚は成熟に伴う水分の減少から小さくなり，乾燥後の粒厚は粒の充実から大きくなるという経時変化が認められた。また，収穫時に高水分である粒ほど乾燥後の粒厚の減少も大きかった。
- 2) 「農林 61 号」及び「あやひかり」の高水分小麦は，高水分粒ほど粒厚が厚い傾向が認められた。また，食糧庁型縦目篩による検討から，高水分小麦を粒厚選別により二分して水分別乾燥を行う場合，選別粒厚が 3.0～3.4mm 程度のときに篩の上下での水分差が大きく，適当であるとの知見が得られた。
- 3) 回転式粒厚選別機を用いて，目開き 3.0mm，3.2mm，3.4mm にて乾燥前小麦の選別試験を行った結果，水分に基づく二分割の水分選別を行う場合には目開き 3.2mm の篩を用いることにより，収穫する可能性のある水分である 35%前後の時期にほぼ均分できるとの知見を得た。また，水分 30～45%の小麦は流動性が悪く，選別能率は乾燥麦の 3 割程度であった。
- 4) 原麦成分では篩上区が灰分，タンパク含量とも篩下区より常に高く，無選別のもはその中間の値であった。小麦粉成分でも同様に，灰分，タンパク含量

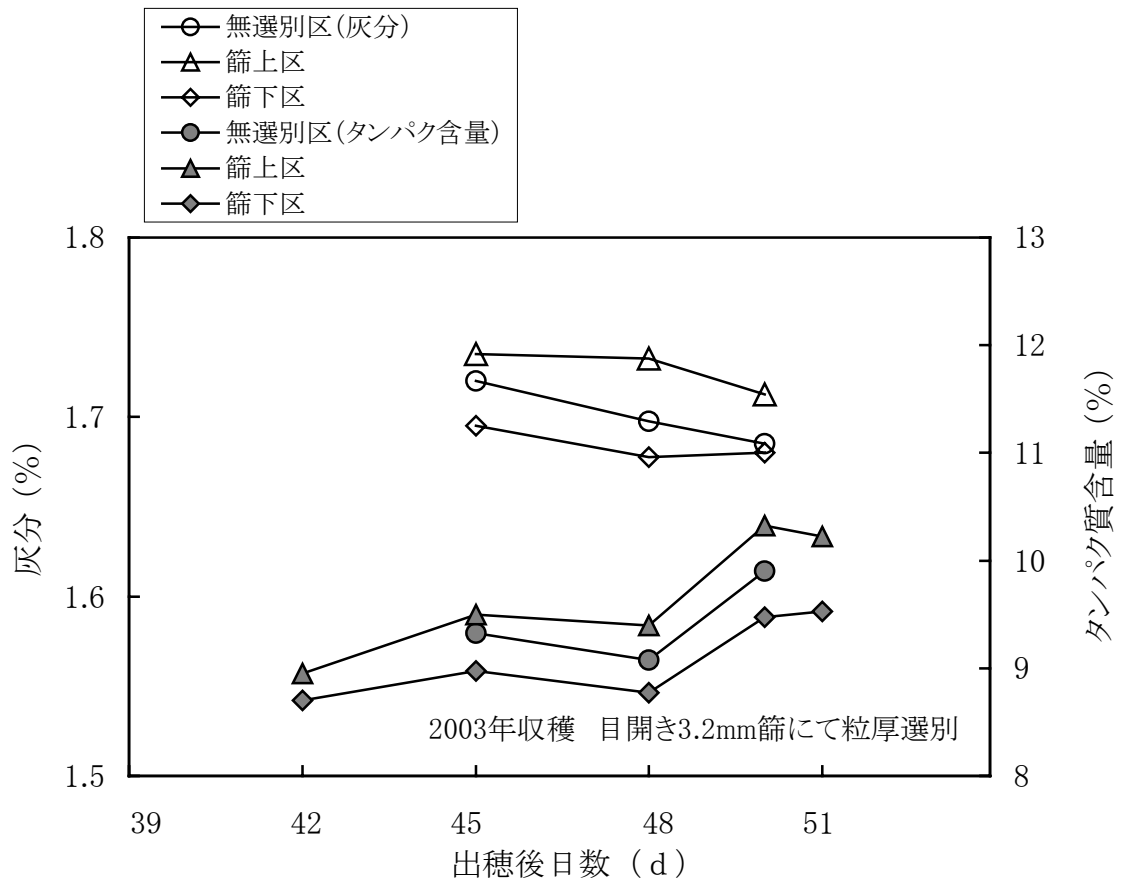


図 3-2-2 粒厚選別と原麦灰分およびタンパク含量

は篩上区が篩下区より常に高く，無選別のものはその中間の値であった。

第4章 水分選別小麦の乾燥条件による小麦粉品質への影響

4.1 はじめに

本項では粒厚選別による水分選別後の最適な乾燥条件を明らかにすることを目的とし、乾燥工程前の小麦を回転式の粒厚選別機を用いて選別し、異なる通風条件下及び温度条件下にて乾燥を行い、小麦粒色、小麦粉の粉色及び澱粉品質の面から検討した。

なお、通常外観品質の中に粒色は含まれるが、目視によって損傷等と併せて総合的に判断されるため、粒色の測定値により外観品質を判断することはできない。

4.2 試験方法

供試材料には実験圃場にて標準的な栽培を行った小麦(農林61号)を用いた。出穂後52日目(2005年6月20日)から56日目(6月24日)まで穀粒水分約35%~25%の条件で収穫した。水分測定は135°C-10g粒-24h法によった。粒厚選別は、乾燥工程前の穀粒を目開き3.2mmの篩を用いて回転式の粒厚選別機(タイガーカワシマ製A33)にて行った。

無選別区及び粒厚選別を行った後の篩上区、篩下区について、後述の5条件を設定し乾燥試験を行った。乾燥条件の制御には平行調温調湿方式の恒温恒湿槽(エスペック製LHU113)を用い、40°C区では相対湿度50%(絶対湿度約0.035kg/kg(DA))、50°C区では相対湿度40%(絶対湿度約0.05(DA))、60°C区では相対湿度30%(絶対湿度約0.06kg/kg(DA))と設定した。なお、60°C区について、装置の仕様では相対湿度40%以下は制御が保証される範囲外であるが、装置の設定は可能であり、乾湿球方式による湿度表示は設定通り30%を示した。また、装置の仕様では槽内の温湿度分布の範囲は、外周囲温度23°C時で無試料

の場合、温度 $\pm 2^{\circ}\text{C}$ 、湿度 $\pm 6\% \text{RH}$ である。

循環式乾燥機で高水分穀類を乾燥させる際に問題となりやすいブリッジ等による循環不良のため、穀粒は加熱されるが通風が不十分な条件に置かれることを想定し、穀粒をビーカー内に充填する区（以下、無通風条件と記す）を設けた。ビーカーは300mlの容量で蓋はせず、縁の高さまで試料を充填した。乾燥条件は 40°C 区、 50°C 区、 60°C 区を設定した。また、薄層乾燥条件として、網（線径： 0.2mm 、目開き： 1.4mm ）の上に試料が重ならないように広げ、乾燥条件は 50°C 区及び 60°C 区を設定した。試料は1区200～300g程度であった。いずれも各条件下で24時間乾燥後、種用網袋（ $40\text{cm} \times 50\text{cm}$ ）に移し、平型乾燥機（金子農機製KFA-480B）にて常温通風乾燥を24時間行った。その後、粒色測定及び製粉までの約3ヶ月間は庫内温度 10°C の冷蔵庫にて保管した。また、試料は実際の出荷の際と同様に、目開き 2.2mm の篩にて屑粒除去を行った。

粒色の測定は、分光色色計（ミノルタ製）にて以下の要領で行った。100～200g程度の小麦試料から無作為に50g程度をシャーレ（内径 $60\text{mm} \times$ 高さ 17mm ）に充填し、計測位置をずらして10回測定することを1セットとし、1区について10セット（合計100回）の測定を行った。

小麦粉品質については、ブラベンダーミルを用いて製粉後、分光測色計（ミノルタ製CM3500）によって粉色を測定し、ラピッドビスコアナライザー（Newport Scientific製RVA-3D、以後RVAと記す）によって澱粉品質の測定を行った。

4.3 結果及び考察

4.3.1 水分

図4-3-1に2005年収穫時の水分及び目開き 3.2mm の篩にて粒厚選別した後の水分を示す。篩下区と無選別区が近い値を示したが、常に水分は篩上区、無選別区、篩下区の順に高い値を示した。いずれの区も薄層乾燥では24時間後に

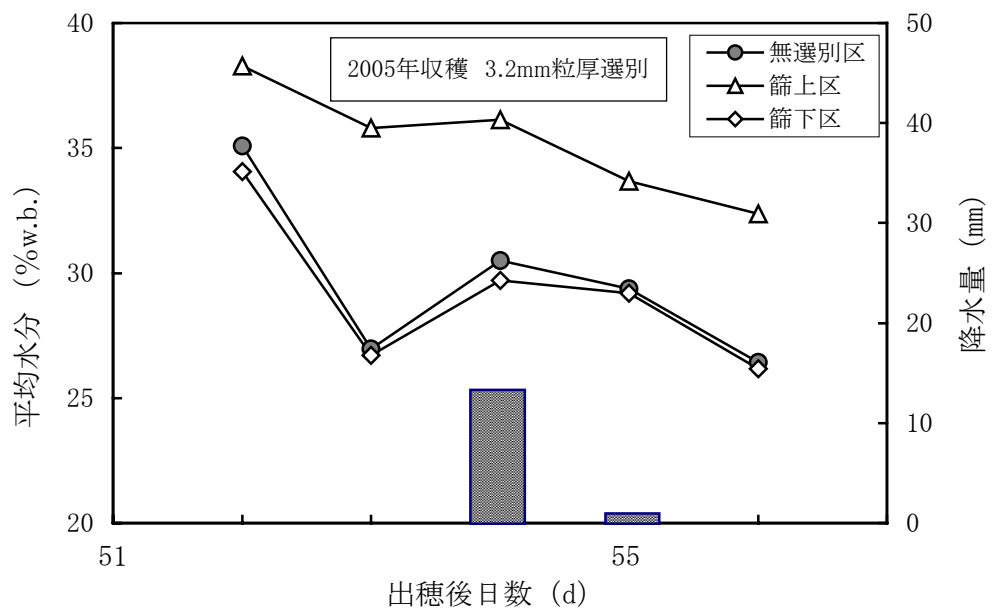


図 4-3-1 降水量と穀粒平均水分の推移

水分 10～13%となった。無通風条件では 24 時間後に乾燥前水分からそれぞれ 2～5%減少した。その後、24 時間の常温通風乾燥及び 3 ヶ月の冷蔵庫内保管を経た後、製粉時にはいずれの区も水分 9%程度であった。

4.3.2 粒色

無通風条件にて乾燥を行った試料の粒色の測定結果を図 4-3-2 に示す。40℃区について、L*では選別区ごとの違いは認められなかったが、a*、b*では篩上区が低い値を示した。50℃区、60℃区については、L*、a*、b*とも篩上区の値が低い傾向を示した。また、いずれの選別区でもL*及びb*は 60℃区が最も低い傾向を示した。a*については、無選別区、篩下区とも、温度区による明確な影響は認められなかったが、篩上区では 60℃区が低い傾向を示した。

薄層条件にて乾燥を行った試料の測定結果を図 4-3-3 に示す。50℃区の場合、L*では篩上区が高い傾向を示し、a*とb*では、篩上区が低い傾向を示した。また、60℃区は 50℃区とほぼ同等の値を示し、選別区による違いも 50℃区と同様の傾向を示した。

理想的な乾燥条件とされる薄層条件と比較して無通風条件ではL*及びb*の低下が認められ、特に 60℃区では顕著であった。

4.3.3 粉色

無通風条件乾燥を行った試料について、粉色の測定結果を図 4-3-4 に示す。小麦粉の粉色では、L*は高い値、a*は低い値、b*は高い値が好ましいとされる。L*については、乾燥温度 40℃、50℃、60℃とも篩上区が低い傾向を示し、無選別区と篩下区はほぼ同等であった。また、無選別区及び篩下区では乾燥温度 60℃が最も低く、40℃と 50℃はほぼ同等であった。篩上区では出穂後 55 日目を除いて乾燥温度 60℃が最も低く、40℃と 50℃は出穂後 55 日目を除いてほぼ同等であった。

a*については、いずれの乾燥温度においても篩上区、無選別区、篩下区の順

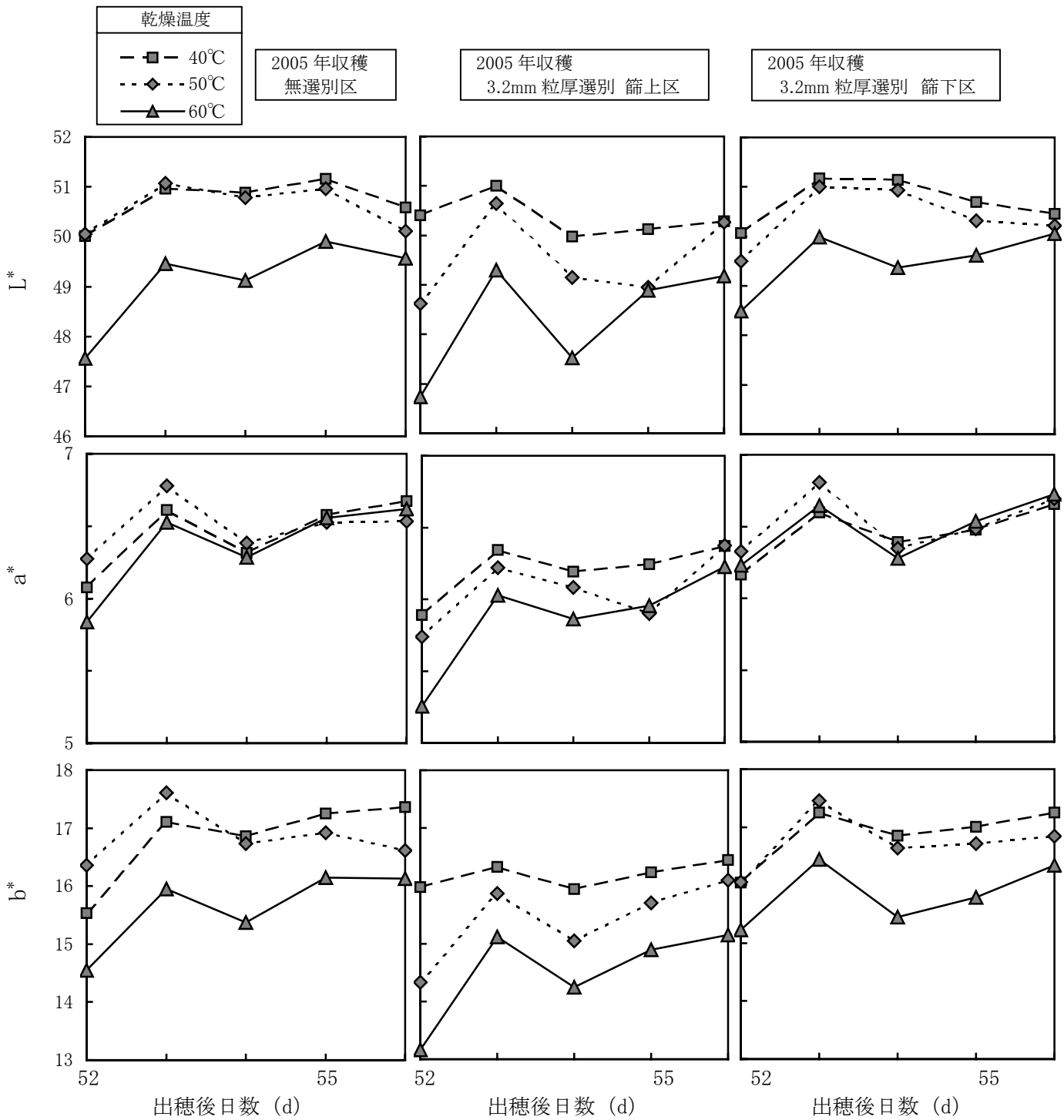


図 4-3-2 無通風条件（ビーカー充填）での乾燥温度と粒色

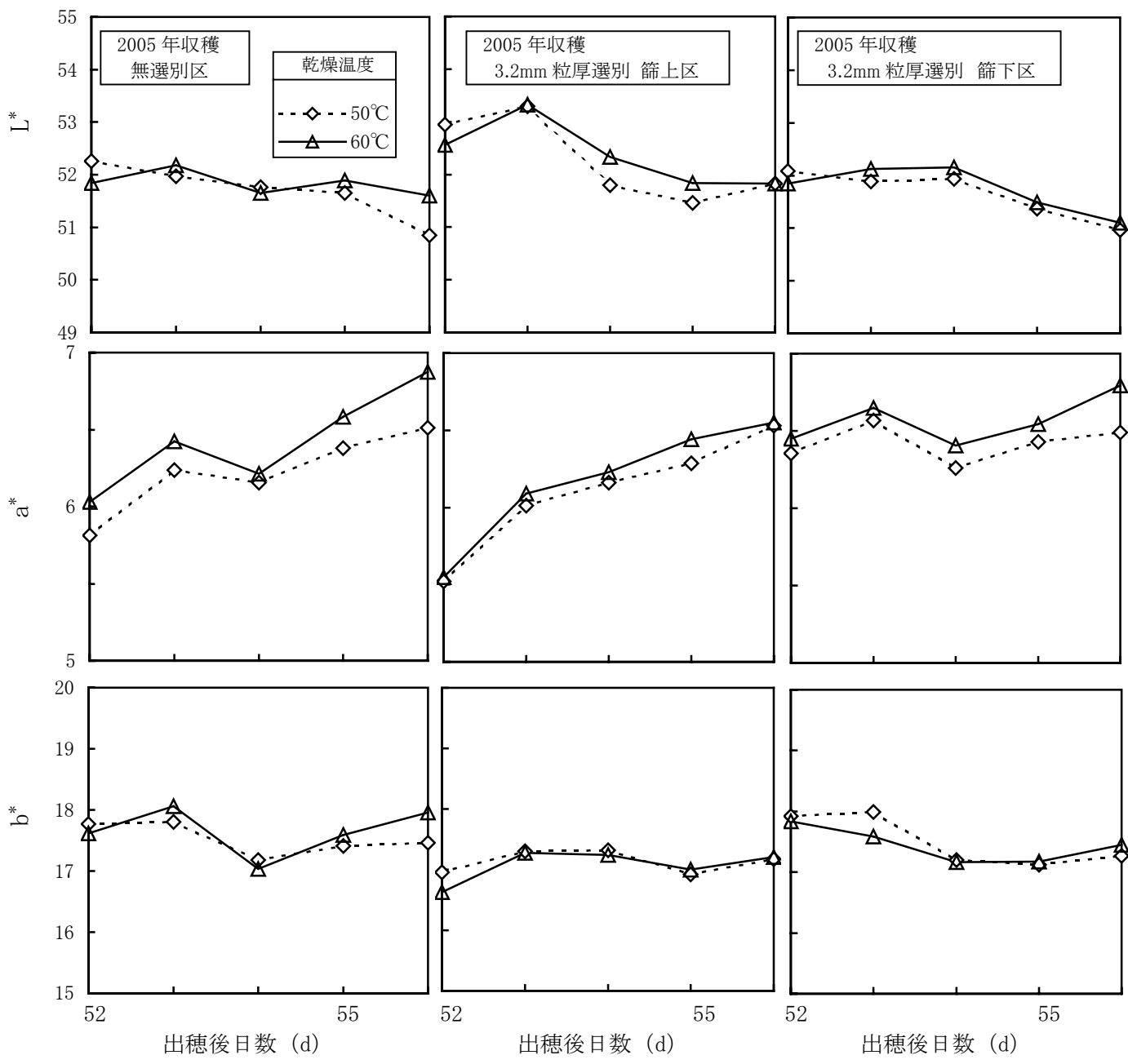


図 4-3-3 薄層乾燥時の温度と粒色

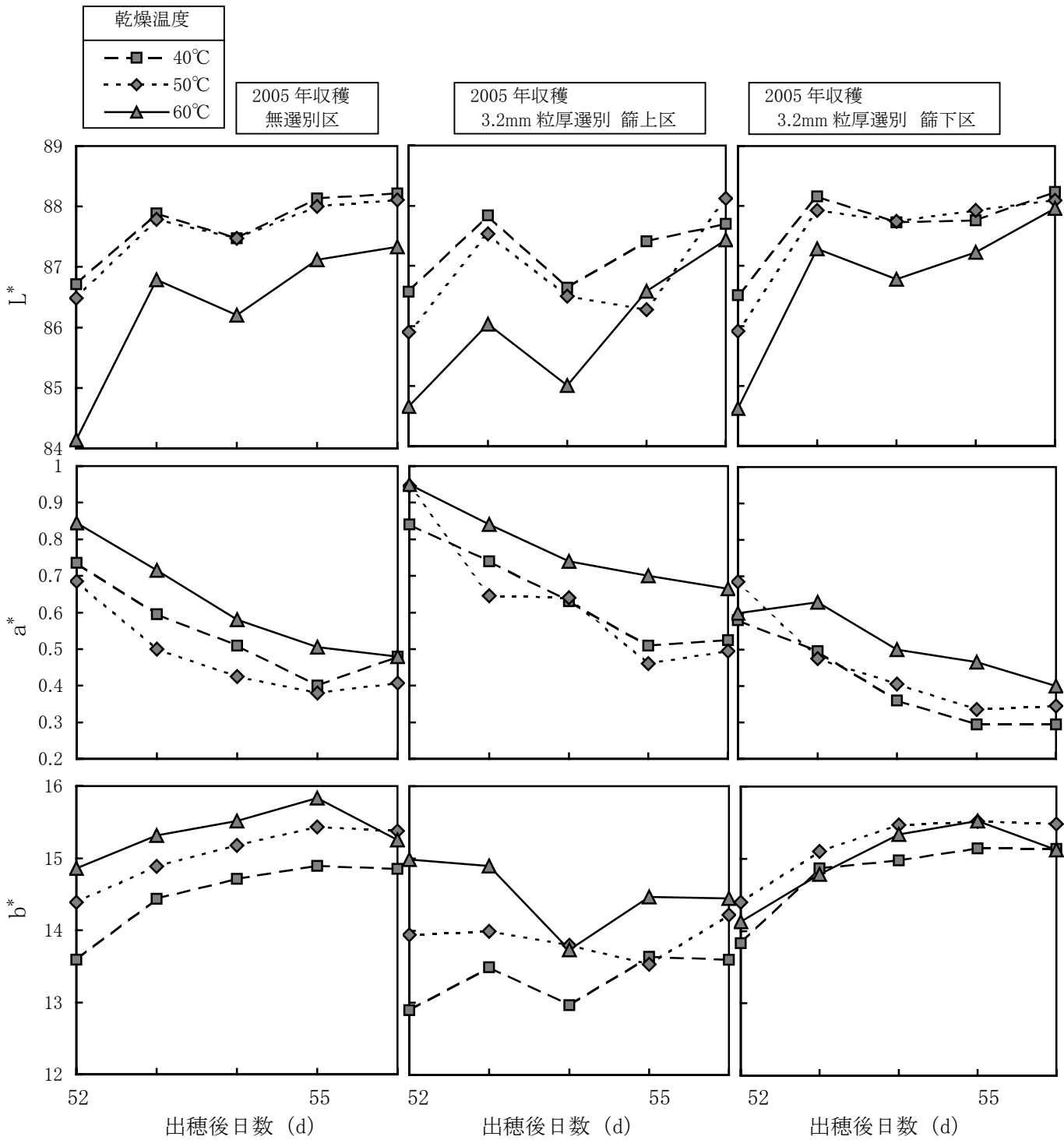


図 4-3-4 無通風条件（ビーカー充填）での乾燥温度と粉色

に高い値を示した。また、無選別区では乾燥温度 60℃、40℃、50℃の順に高い値を示し、篩上区では 60℃が最も高い値を示したが、40℃と 50℃はほぼ同等であった。篩下区では出穂後 52 日目を除き乾燥温度 60℃が高い値を示し、40℃と 50℃はほぼ同等であった。

b*について、乾燥温度 40℃及び 50℃については篩下区、無選別区、篩上区の順に高い値を示した。60℃では無選別区が篩下区より高い値を示し、篩上区は出穂後 52 日目には無選別区より高く、53 日目には無選別区と篩下区の間値をとり、以降は両者より低い値であった。また、無選別区では出穂後 56 日目に 60℃が 50℃を下回った以外は、60℃、50℃、40℃の順に高い値を示した。篩上区では出穂後 54 日目に 60℃が 50℃を下回り、55 日目に 50℃が 40℃を下回った以外は、60℃、50℃、40℃の順に高い値を示した。篩下区ではいずれも近い値を示したが、常に 50℃は 40℃より高く、60℃は出穂後 53 日目及び 56 日目を除いて 40℃と 50℃の間値であった。

以上より、粒厚選別については篩下区、無選別区、篩上区の順に好ましい粉色との傾向が示された。乾燥温度については、60℃が劣ったものの 40℃と 50℃については明確な違いは認められなかった。

図 4-3-5 に薄層乾燥条件での乾燥温度ごとの粉色を示す。L*については、乾燥温度 50℃では無選別区と篩下区はほぼ同等であった。篩上区はばらつきが大きく一定の傾向は認められなかった。60℃では篩下区が常に無選別区より高い値を示した。また、無選別区では乾燥温度 50℃が高く、篩上区では両者ともほぼ同等、篩下区では 60℃が高い傾向を示したがいずれも近い値で推移した。

a*について、乾燥温度 50℃では無選別区と篩下区はほぼ同等であったが篩上区が高い傾向を示した。60℃では出穂後 53 日目に篩上区と篩下区が逆転したが、篩上区、篩下区、無選別区の順に高い値であった。また、無選別区、篩上区、篩下区のいずれも乾燥温度 60℃の方が高い値を示した。

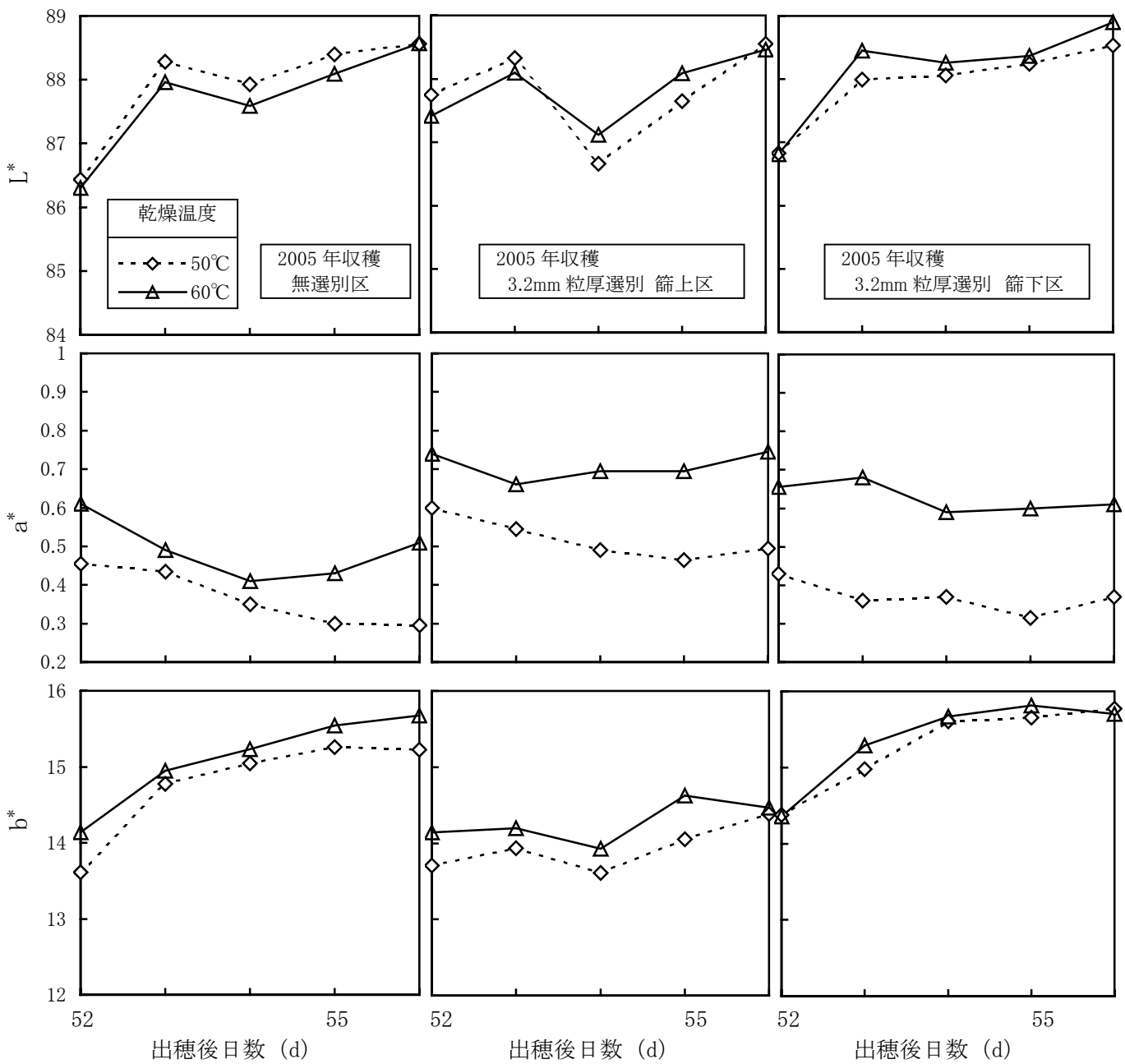


図 4-3-5 薄層乾燥時の温度と粉色

b*について、乾燥温度 50℃、60℃のいずれも篩下区、無選別区、篩上区の順に高い値を示した。また、無選別区、篩上区では 60℃乾燥の方が高い値を示した。篩下区では 50℃と 60℃はほぼ同等の値であった。

以上より、粒厚選別については篩下区、無選別区、篩上区の順に好ましい粉色との傾向が示された。乾燥温度については、L*、b*ともほぼ同等であったが、a*では 50℃の方が好ましい粉色との傾向が示された。

4.3.4 澱粉品質のラピッドビスコアライザーによる検討

図 4-3-6 にビーカー充填による無通風条件での乾燥温度ごとの RVA ピーク値を示す。RVA ではピーク値が 300RVU を下回る場合は澱粉の劣化が疑われ、高い方が好ましいとされる指標である。乾燥温度 40℃では、常に篩下区が篩上区より高い値を示した。無選別区は出穂後 52 日目には篩上区を下回る低い値を示したが、以降は篩下区とほぼ同等であった。50℃では出穂後 52 日目には、篩下区、無選別区、篩上区の順に高い値を示したが、以降はいずれの区もほぼ同等であった。60℃では選別区による傾向の違いは認められなかった。また、無選別区では出穂後 52 日目に乾燥温度 40℃が 230RVU 程度まで低下し、50℃も 320RVU 程度まで低下したが、60℃は 400RVU 以上であった。以降はいずれも大きな低下は無く同等であった。篩上区では乾燥温度 40℃は常に 60℃より低い値を示したが、50℃では出穂後 52 日目には 250RVU 程度、54 日目に 350RVU 程度まで低下したが、それ以外は 400RVU 程度であった。篩下区ではいずれも 370~420RVU 程度で推移し、乾燥温度による影響は認められなかった。

以上より、無通風条件での乾燥については、乾燥温度 40℃、50℃では平均穀粒水分が約 35%以上の場合は、澱粉品質の著しい劣化が認められたが、60℃では劣化は認められなかった。

図 4-3-7 に薄層乾燥条件での乾燥温度ごとの RVA ピーク値を示す。乾燥温度 50℃及び 60℃とも粒厚選別による明確な影響は認められなかった。また、篩

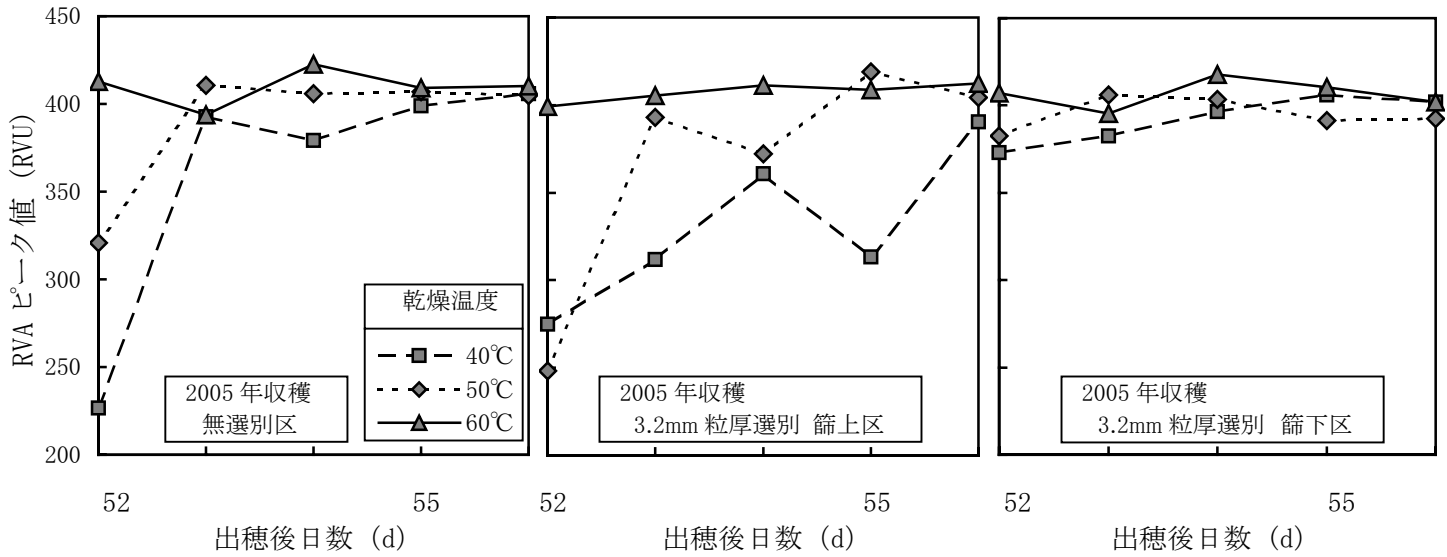


図 4-3-6 無通風条件（ビーカー充填）での乾燥温度と澱粉品質

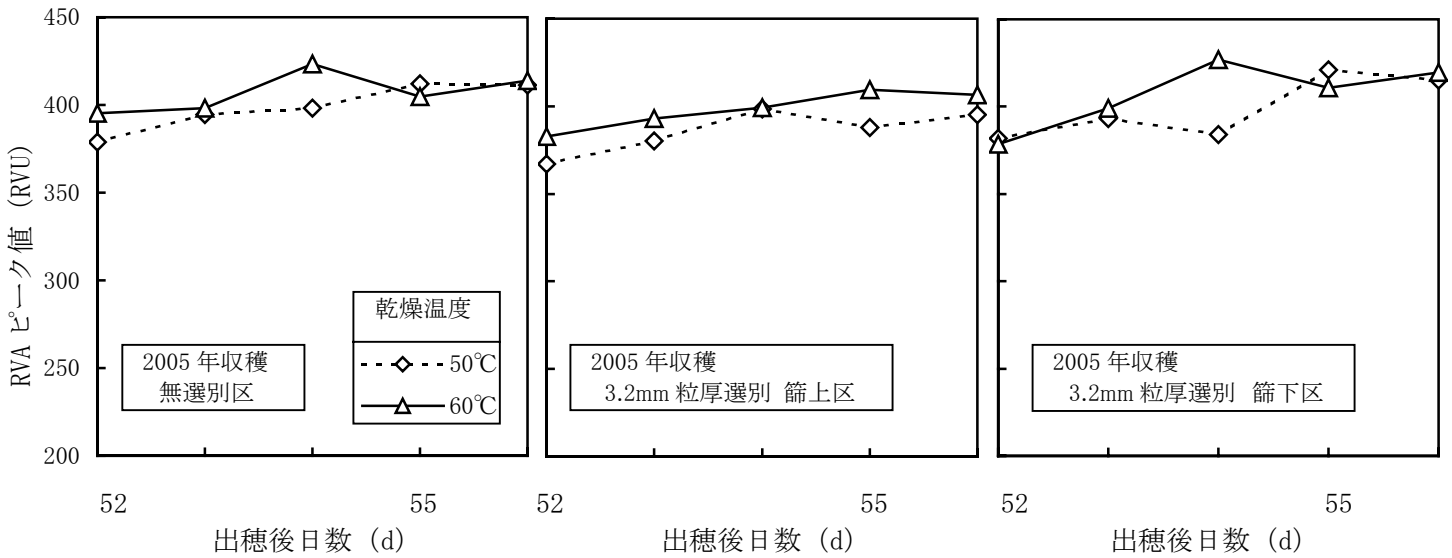


図 4-3-7 薄層乾燥時の乾燥温度と澱粉品質

上区では乾燥温度 60℃の方がやや値が高かったが、いずれの選別区でも乾燥温度 50℃と 60℃はほぼ同等の値を示した。

以上より、薄層条件での乾燥については、乾燥温度、粒厚選別とも澱粉品質に明確な影響は与えなかった。

4.3.5 総合考察

1) 粒厚選別による水分選別と品質

選別前後の平均水分から、粒厚選別により水分で選別することが可能と認められた。また、粉色は、無通風条件及び薄層条件下で、篩下区が最も好ましく、以下、無選別区、篩上区の順であった。

篩上区は水分が高く未成熟の粒も含まれ、また、高水分であることから劣化し易く、粉色が劣る傾向を示した。篩下区は水分が低く成熟した粒の割合が高いため、劣化しにくいことから粉色が好ましい傾向を示した。無選別区はその中間の値を示したと推察される。

澱粉品質については薄層条件では明確な影響は見られなかったが、無通風条件では篩下区が最も好ましく、次いで無選別区、篩上区の順となる傾向が認められた。薄層条件では乾燥速度が速く、選別区に関わらず澱粉品質の劣化が進行せず、選別区による違いが認められなかったと考えられる。また、無通風条件では乾燥速度が遅いため、初期水分の最も高い篩上区、次いで無選別区、篩下区の順に劣化が進行したと考えられる。

2) 乾燥条件と品質

粉色及び澱粉に対する乾燥条件の影響を表 4-3-1 にまとめた。乾燥温度については、薄層条件では粉色、澱粉品質とも明確な影響は認められなかった。無通風条件では 60℃の場合に粒色のL*及びb*の変化が大きく、また、粉色のL*が劣化が顕著であった。澱粉品質は 40℃では大幅な劣化、50℃もやや劣化が認められたが、60℃では劣化は認められなかった。したがって、粉色及び澱粉品

表4-3-1 乾燥条件の品質への影響測定結果のまとめ

区	測定項目	無通風				薄層乾燥								
		40	区	50	区	60	区	50	区	60	区			
無選別	粉色澱粉													
篩上	粉色澱粉													
篩下	粉色澱粉													

○ : 劣化なし △ : やや劣化あり × : 劣化あり

質の両方から検討すると無通風条件では、乾燥温度 50℃の場合が劣化程度が軽かったといえる。

3) 高水分小麦乾燥時の劣化防止策

高水分小麦の乾燥温度については、発芽率などを目安に 50℃が加熱限界、安全性を考慮すると 40℃程度での乾燥が望ましいとの報告（佐々木，1984）があるが、粉色及び RVA ピーク値による検討から、乾燥工程における品質劣化は通風条件に大きく影響を受け、乾燥温度 40℃であっても通風が無くなれば劣化は生じ、逆に乾燥温度が 60℃であっても通風が十分であれば劣化は生じ難いとの結果を得た。したがって、高水分小麦の乾燥の際には設定温度を 40℃とした場合でも、詰りやブリッジ等のトラブルで通風が阻害されないようにすることが重要である。

4.4 まとめ

小麦の粒厚選別による水分選別乾燥について、乾燥温度、通風条件を小麦粉粉色及び澱粉品質の面から検討した結果、以下の知見を得た。

1) 水分選別乾燥では、篩下区、無選別区、篩上区の順に粉色が好ましいと示唆された。澱粉品質については乾燥工程時に通風が少ない場合でも、低水分の篩下区は劣化し難く、高水分の篩上区は劣化し易い傾向が認められた。高水分であるほど澱粉品質が劣化し易いためと考えられる。

2) 乾燥条件について、薄層乾燥では乾燥温度による明確な影響は認められなかった。無通風条件では乾燥温度 40℃の場合に澱粉品質が大きく劣化し、50℃でも澱粉品質の劣化が見られ、60℃の場合には粒色の変化も大きく、粉色の顕著な劣化が認められた。乾燥温度 50℃の場合は粉色、澱粉品質とも大きな劣化は認められなかった。

3) 乾燥工程における品質劣化は通風条件に大きく影響を受け、通常安全とさ

れる乾燥温度 40℃であっても無通風となれば劣化し, 逆に乾燥温度が 60℃でも十分な通風があれば劣化し難いとの結果を得た。高水分小麦の乾燥の際には通風の維持に留意することが重要である。

第5章 循環式乾燥機を用いた水分選別乾燥の小麦粉品質への影響

5.1 はじめに

本章では水分選別乾燥の実用的な試験として、一般に市販されている循環式乾燥機を用いた乾燥試験を行った。なお、粒厚選別による水分選別作業は、大量処理の可能な回転式の粒厚選別機によって、目開き 3.2mm の篩を用いて行った。乾燥試験においては、水分選別により初期水分の異なる小麦の乾燥過程を詳細に検討するため、給・排気及び穀粒温度を連続的に測定した。また、粒厚選別による水分選別乾燥が原麦成分及び製粉後の小麦粉品質に与える影響について検討した。

5.2 試験方法

標準的な栽培を行った小麦（農林 61 号）を収穫後、目開き 3.2mm の篩を用いて回転式の粒厚選別機（タイガーカワシマ製 A66）にて選別し、篩上に残留したものと篩下に漏下したものを別々に乾燥機（井関農機製 GA100, 容量：小麦 1200kg）に投入した。また、対照として無選別の小麦を同様に乾燥機に投入した。試験の様子を写真 5-2-1 に示す。

試験は出穂後 46 日目（2005 年 6 月 14 日）、49 日目（6 月 17 日）、51 日目（6 月 19 日）の 3 回行った。出穂後 46 日目は予備的な試験であったため、正常に運転できる下限に近い張込量（乾燥後重量 300～400kg）とした。出穂後 49 日目は無選別区約 700kg、篩上区約 750kg、篩下区約 650kg、51 日目は無選別区約 900kg、篩上区約 500kg、篩下区は約 950kg であった。

また、乾燥機の設定は「小麦」とし、仕上水分は 13.5% と設定した。設定水分まで熱風乾燥を行った後、穀粒温度を下げるため 3 時間程度の常温通風を行った。張込量と穀粒水分によって熱風温度の設定は変化するが、メーカー未公



グレンタンク(i) から高水分小麦を回転式選別機(ii) へ投入し、コンベア(iii) にて乾燥機へ張込みを行った。

(a) 選別作業



3 台の同型の乾燥機(右) で篩上区、篩下区、無選別区の乾燥作業を行った。

(b) 乾燥試験

図 5-2-1 循環式乾燥機を用いた水分選別乾燥試験

表である。運転中の送風温度表示では穀粒水分 30%以上の高水分条件の場合は 40～50℃，その後 50～60℃となり，既往の研究による品質劣化を起さない温度条件と一致する値であった（全農 施設・資材部，1978，佐々木泰弘，1986）。

外気温湿度，穀粒温度，排気温湿度は江藤電機製データロガー（サーモダック EF5020A），T 型熱電対，湿度センサー（TDK 製 CHS-UPS）を用いて測定し，穀粒水分，原麦タンパク含量，容積重は近赤外分光分析器（FOSS 製 Infratec 1241）にて測定した。

乾燥後の分析について，（財）日本穀物検定協会へ，ビューラー製粉，及び製粉歩留，小麦粉灰分，カラーグレーダーバリュー（以後 C. G. V. と略記）の測定を依頼した。

5.3 結果及び考察

5.3.1 乾燥試験の経過

乾燥試験の概要を表 5-3-1，張込直後の水分を図 5-3-1 に示す。いずれも篩上区の初期水分が最も高く，ついで無選別区，篩下区の順であった。乾燥機の設定は同じであったにも関わらず仕上時の水分が異なるが，熱風乾燥後の穀粒温度をさげるための常温通風による乾燥程度が異なったためと考えられる。また，平均乾減率は，初期水分，張込量，乾燥温度，粒厚及び夾雑物割合などに影響されるが，出穂後 46 日目の場合は，張込量が少ないために乾減率が高くなったと推察される。

出穂後 49 日目の乾燥試験の経過を図 5-3-2 に示す。穀粒水分は乾燥開始後 7 時間は，乾減率が安定しなかったが，8 時間以降（50 日目 0:00 以降）は安定した。張込時に槽内で不均一であった試料の水分が全体にほぼ均一になったためと考えられる。また，穀粒温度と排気温度は近い値となり，乾燥後穀粒水分 20% 程度までは 30℃前後であったが，それ以降は温度の上昇が認められた。また，

表 5-3-1 循環式乾燥機を用いた粒厚選別乾燥試験の概要

収穫日	区	初期水分 (%)	仕上時水分 (%)	乾燥時間 (h)	平均乾減率 (%/h)	張込量 (kg)	容積重 (g/l)
出穂後 46 日目 (2005/6/14)	無選別	46.3	12.6	18	1.9	未計測	
	篩上	51.9	11.8	18	2.2	(300~ 400kg 程度)	未計測
	篩下	40.9	11.8	12	2.5		
出穂後 49 日目 (2005/6/17)	無選別	39.9	12.9	21	1.4	700	827
	篩上	41.5	12.5	22	1.6	750	839
	篩下	37.0	13.3	15	1.2	650	816
出穂後 51 日目 (2005/6/19)	無選別	36.0	13.1	17	1.1	900	840
	篩上	37.9	12.5	17	1.4	500	844
	篩下	33.3	13.4	18	1.0	950	835

*容積重は目開き 2.2mm の篩で屑粒を除去した後の値

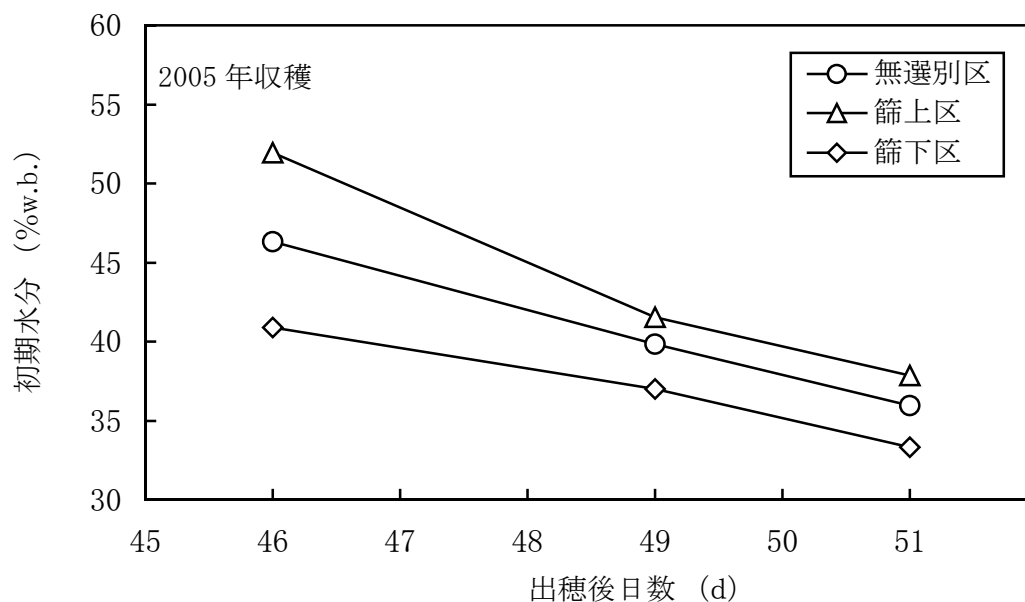
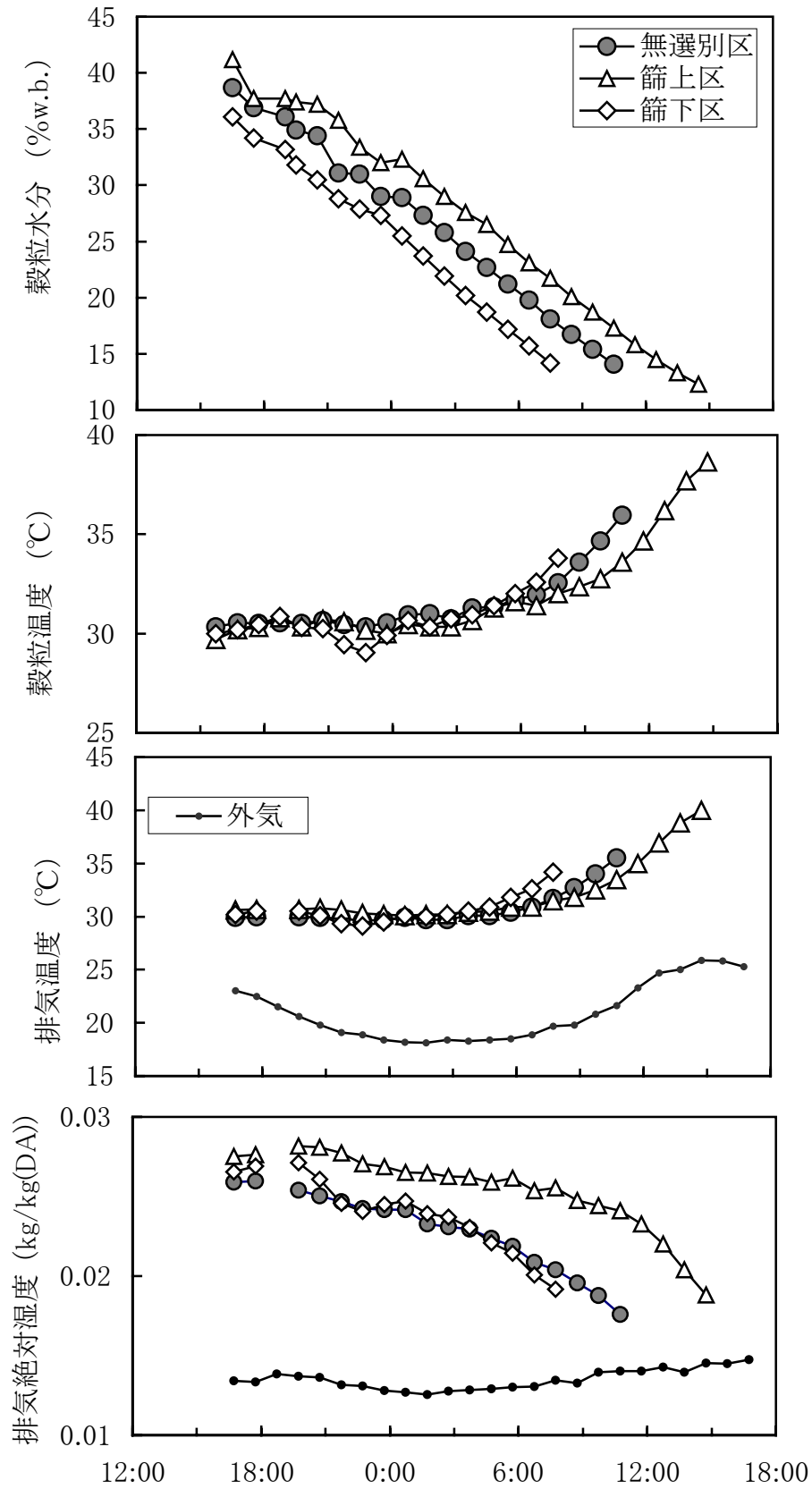


図 5-3-1 乾燥機張込み直後の平均穀粒水分



出穂後 49 日 (2005 年 6 月 17 日) 出穂後 50 日 (6 月 18 日)

図 5-3-2 循環式乾燥機による乾燥試験

排気温度が 30℃程度で安定している時期にも絶対湿度は徐々に減少を始め、排気温度の上昇とともに減少速度も加速した。出穂後 49 日目の乾燥試験では張込量が区によって大きく異ならなかったため、初期水分の低い順に乾燥が終了し、初期水分の低い篩下区は初期水分の高い篩上区と比較して 7 時間程度、無選別区と比較して 3 時間程度乾燥時間が短かった。51 日目では篩上区の張込量が他の区より 400kg 程度少なく、初期水分が高かったにも関わらず他の区より先に乾燥が完了した。

5.3.2 品質

1) 粉色及び成分品質

図 5-3-3 に C. G. V. と粉色に影響するとされる小麦粉灰分、タンパク質含量及び製粉歩留を示す。C. G. V. は粉色の指標であり、分光測色計の L* との相関が高く、値が低い方が粉色が明るく好ましい値とされる。出穂後 46 日目、51 日目では篩上区と無選別区はほぼ同程度の値を示したが、篩下区、無選別区、篩上区の順に低い値を示した。灰分及びタンパク含量が高いと粉色が低下するため、粉色を判断する際に参考にされることが多いが、篩下区、無選別区、篩上区の順に両成分とも低く、C. G. V. と一致する結果を示した。製粉歩留が高い場合は、表皮の切込による粉色の低下や表皮に多く含まれる灰分による小麦粉の灰分の上昇及び粉色の劣化を招くが、本結果では適正な範囲であり粒厚選別の影響も見られず、粉色への影響は無視しうる範囲と判断される。

2) 生地特性

(1) アミログラム

アミログラムの測定結果を図 5-3-4 に示す。アミログラム最高粘度は澱粉の劣化により低下する指標で、高すぎるものは酵素活性が低く、製麺用、菓子用には悪影響はないが、製パン用には不適である。また、低い場合には加工適性が悪くいずれの用途においても不適である。本測定結果ではいずれも 800BU 程

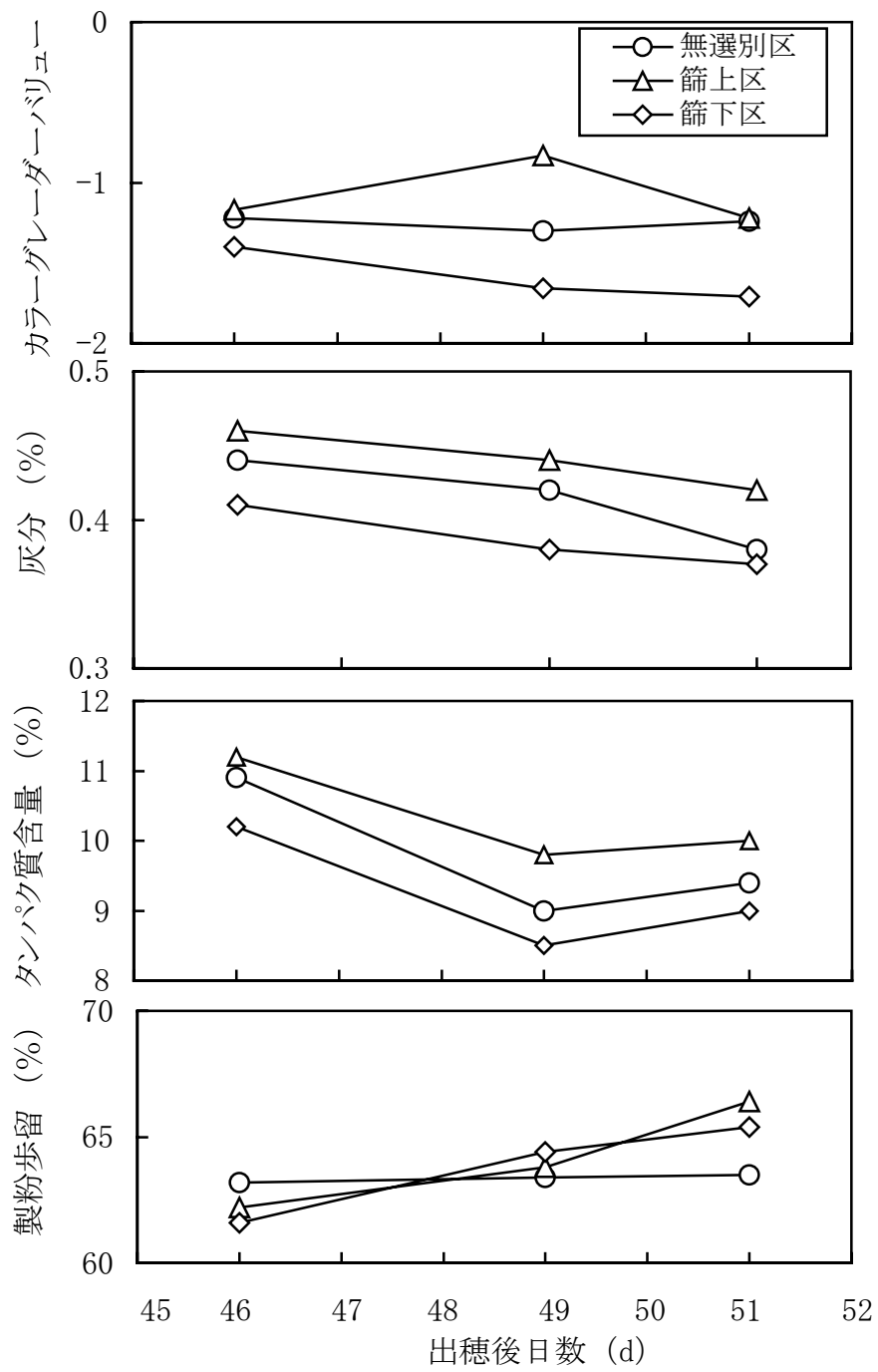


図 5-3-3 粉色と小麦粉成分および製粉歩留

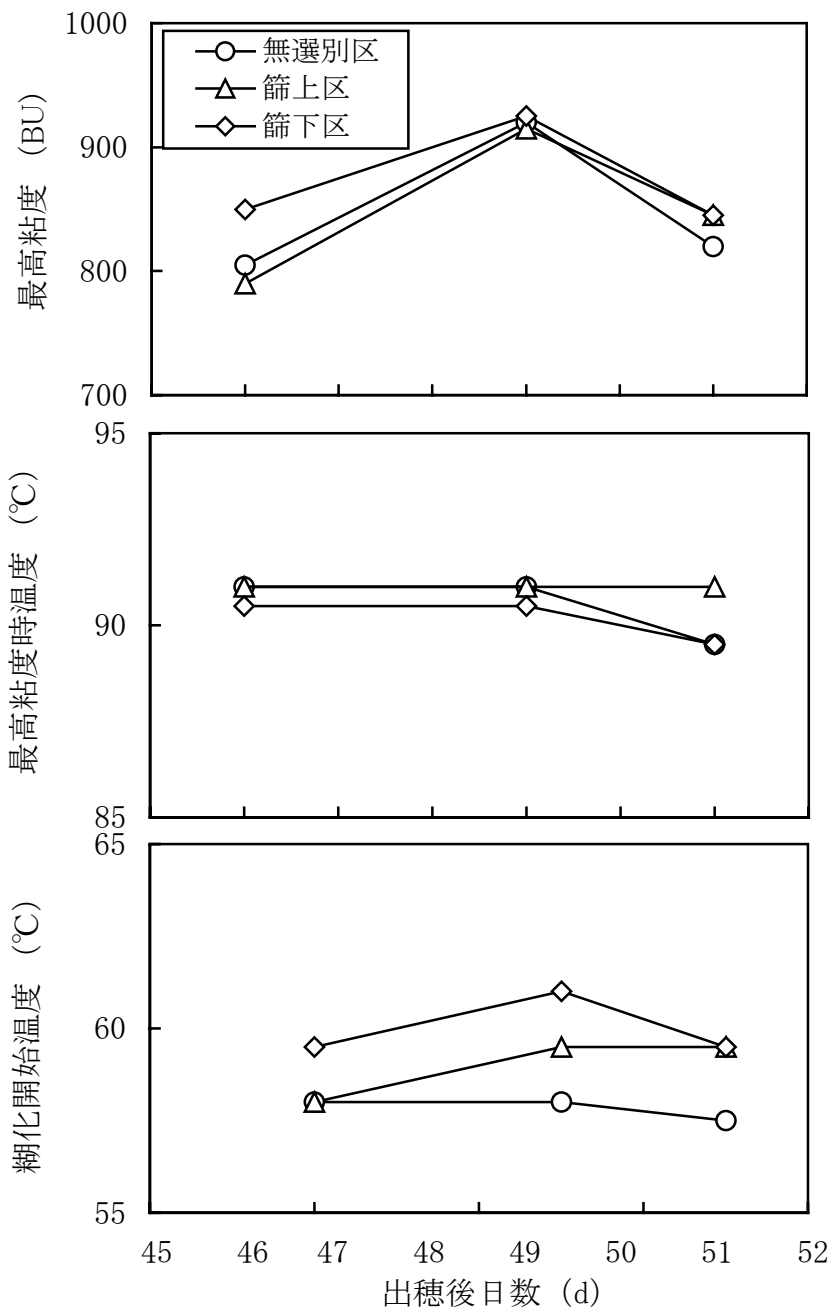


図 5-3-4 粒厚選別とアミログラム

度以上と適正な範囲であった。篩下区が高い傾向を示し、出穂後 46 日目には他の区より 50BU 程度差があった。篩上区、無選別区も十分に最高粘度が高いため、乾燥工程で劣化が生じたとは考えられず、粒厚選別によって生じた原麦成分の違いによると推察される。最高粘度時温度及び糊化開始温度ともに適正な範囲の値であった。

(2) ファリノグラム

図 5-3-5 に小麦粉生地の加工特性の指標となるファリノグラムの測定結果を示す。吸水率は篩上区が高く、次に無選別区、篩下区となる傾向が示された。生地形成時間、生地安定度については粒厚選別による影響は認められなかった。生地弱化度は出穂後 46 日目の篩上区と無選別区では逆転が見られたが、篩下区、無選別区、篩上区の順に高い傾向を示した。バロリメーターバリューは出穂後 46 日には篩上区と無選別区、51 日には篩下区と無選別区がほぼ同等の値を示したが、高い順に篩上区、無選別区、篩下区となった。バロリメーターバリューは、菓子用 30 以下、麺用 30~70、パン用 70 以上とされる（農林水産省技術会議事務局，1968）。測定結果では麺用の農林 61 号として適正な値であった。吸水率、生地弱化度、バロリメーターバリューは、粒厚選別によって生じた原麦成分の違いによる影響を受けたと推察される。

(3) エクステンソグラム

小麦生地の伸張特性の指標であるエクステンソグラムの測定結果を図 5-3-6 に示す。面積は出穂後 49 日目は篩上区が無選別区より高い値を示したが、無選別区、篩上区、篩下区の順に高い傾向を示し、無選別区は 85~90c m²、篩上区は 75~95c m²、篩下区は 60~70c m²の範囲であった。伸張抵抗は、無選別区、篩上区、篩下区の順に高い値を示した。伸張度は粒厚選別による影響は認められなかった。形状係数は出穂後 49 日目は篩上区が篩下区より低い値であったが、無選別区、篩上区、篩下区の順に高い傾向を示した。無選別区が篩上区と篩下

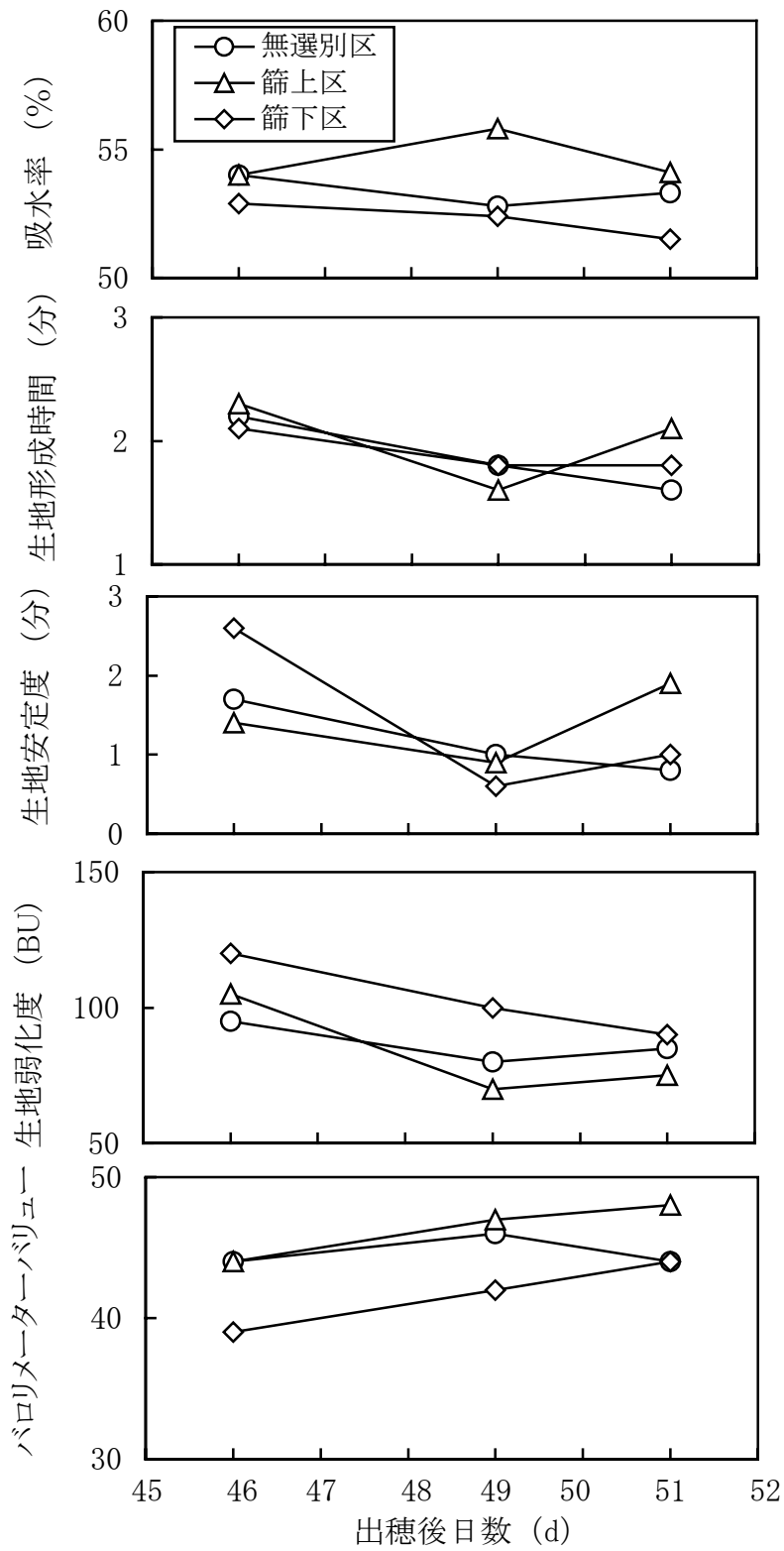


図 5-3-5 粒厚選別とファリノグラム

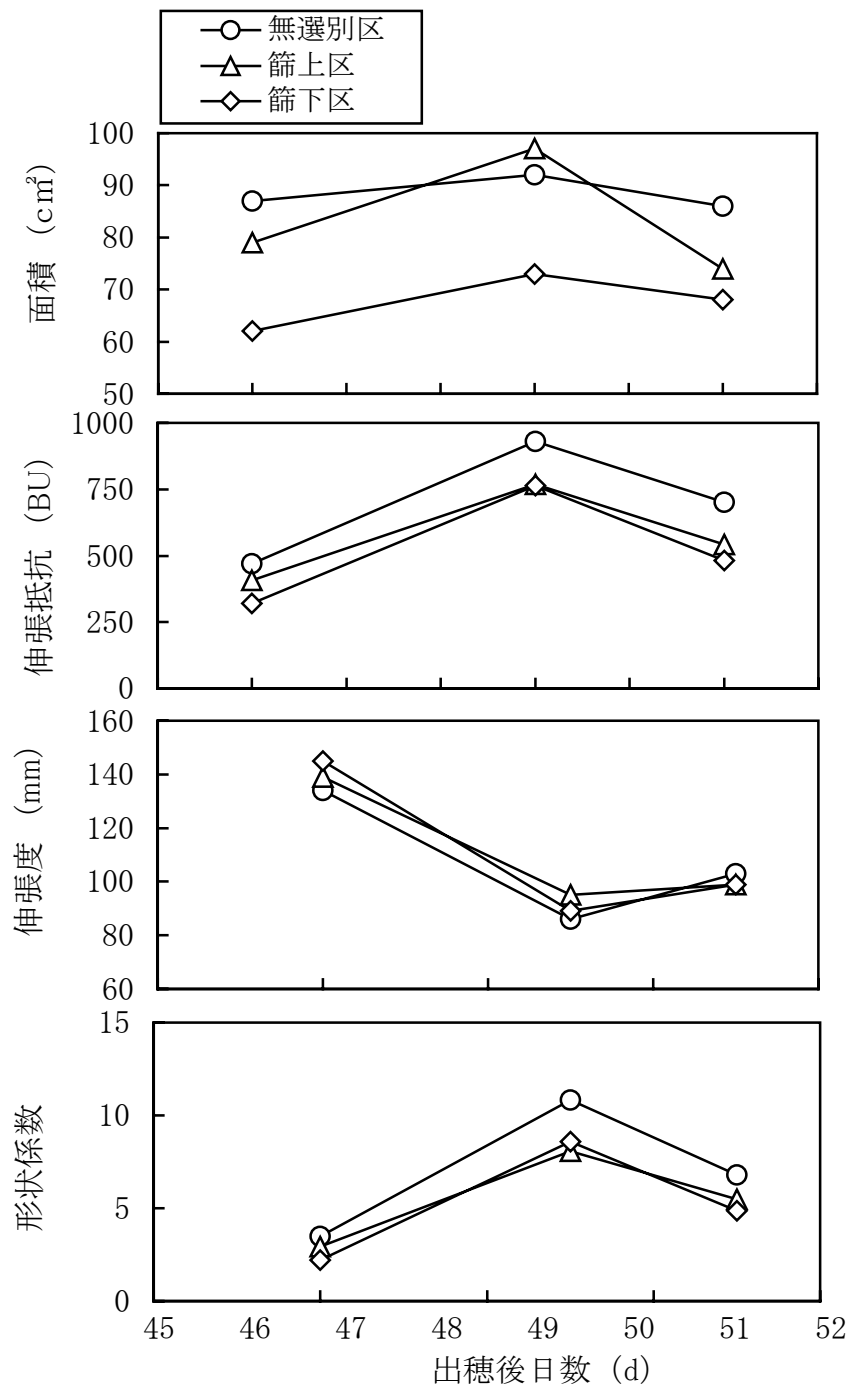


図 5-3-6 粒厚選別とエクステンソグラム

区の中間の値となっていないため、粒厚選別による原麦成分の違いに基づく傾向とは考えにくい。選別作業による物理的なダメージなどの要因も示唆されるが、要因は不明である。

(4) 生地特性への影響について

小麦粉生地特性について、アミログラム、ファリノグラム、エクステンソグラムのいずれの項目も粒厚選別を行った乾燥区ごとに特性の違いが認められたが、一般的に小麦粉の優劣を判断できるような相違は認められなかった。アミログラムとファリノグラムについては粒厚選別による成分の違いによると考えられるが、エクステンソグラムについては選別作業の物理的な影響も示唆されたが不明である。

5.3.3 総合考察

原麦成分について、タンパク含量及び灰分は、篩上区、無選別区、篩下区の順に高い値を示した。製粉後の小麦粉でも同様の傾向が見られ、原麦の成分が影響したと考えられる。また、粉色は好ましい順に篩下区、無選別区、篩上区となり、粉色を低下させるとされるタンパク含量及び灰分と逆の順であった。

生地特性についても選別区による一般的な優劣は認められなかったものの、傾向の違いが認められた。

これらの結果から、本乾燥方式を導入した場合、篩上区と篩下区の混合比率を変えて製粉することで、粉色、生地特性を調整できる可能性がある。また、初期水分の低い篩下区は初期水分の高い篩上区や無選別区と比較して乾燥時間を短縮できるため、複数台の乾燥機で乾燥を行う場合、乾燥機のスケジュール管理の自由度を上げられる可能性がある。

5.4 まとめ

乾燥処理前の小麦を目開き 3.2mm の篩にて粒厚選別し、水分別に乾燥処理を行い、成分品質及び小麦粉品質にどのような影響を与えるか実験的に検討した結果、以下の知見を得た。

1) 原麦成分では篩上区が灰分、タンパク含量とも篩下区より常に高く、無選別のものはその中間の値であった。小麦粉成分でも同様に、灰分、タンパク含量は篩上区が篩下区より常に高く、無選別のものはその中間の値であった。

2) 循環式乾燥機で張込量が同等の場合、初期水分の違いにより、篩下区、無選別区、篩上区の順に乾燥作業が完了し、篩下区と篩上区では7時間程度の差があった。

3) 小麦粉粉色について C.G.V. による検討から、好ましい順に篩下区、無選別区、篩上区となり、粉色を低下させるとされる灰分、タンパク含量とは逆の順であった。

4) 生地特性について、アミログラム、ファリノグラム、エクステンソグラムのいずれの項目も粒厚選別を行った乾燥区ごとに特性の違いが認められたが、一般的に小麦粉の優劣を判断できるような相違は認められなかった。

第6章 結論

先進諸国の食品及び農業生産分野における潮流である食品の高品質化という観点から、高水分小麦の収穫・乾燥調製技術の高度化を目的とし、消費者及び実需者の品質への要求水準が高いにも関わらず、収穫時期に降雨がちで小麦栽培には厳しい気象条件下におかれている国内産小麦を対象として研究を実施した。

第1章においては、本研究の位置付け及び収穫・乾燥調製技術を中心に既往の研究について示した。

第2章においては、主として収穫時における品質劣化の低減を目的にコンバイン収穫作業の高度化を図るべく研究を行った。供試機として一般的に普及している自脱コンバインと普通コンバインを用いた。

自脱コンバインについては稲の収穫用に開発され、国内に広く普及しており、水田転作小麦や稲作との輪作による小麦生産の現場などで多く用いられている。しかし、小麦に関しては適期水分での収穫を想定した設計であり、高水分小麦収穫時の作業の指針も無いため、コンバイン作業においては作業者の経験に依るところが大きい。

そこで自脱コンバインによる高水分小麦収穫について、収穫時期や穀物水分条件などの作物条件及びコンバイン設定などの作業条件と品質劣化程度の関係性を明らかにし、品質を出来るだけ劣化させずに収穫作業を行うための指針とすることを目的として実験的検討を行った結果以下のような結果を得た。なお、試験には市販のコンバインを無改造で供試し、高水分期から収穫適期とされる時期まで連続的なデータ収集を行った。

自脱コンバインを用いて穀粒水分 30～45%の高水分小麦の収穫試験を行い、収穫時期、作業条件及び乾燥条件について、作業精度及び品質の面から検討を

行い、以下の知見を得た。

穀粒水分 45%程度の高水分小麦は機械的に収穫可能であり、その際、穀粒口へのワラ屑の混入率は最大約 5%、穀粒損失は最大約 2%、損傷率は最大約 1%であった。

作業条件についてはコンバイン収穫はバインダ収穫より粉色が劣るとされているが、扱胴回転数を種子採取時（扱歯先端周速度 12.6m/s）程度まで低下させ、通常の作業速度にて収穫することにより、収穫時穀粒損傷の少ないとされるバインダ収穫及び架干乾燥の場合と比較して色差 0.6 以内の良好な粉色を得られた。

収穫時期及び乾燥条件については、40℃の加熱通風乾燥を行った場合、穀粒水分 40%程度での降雨前収穫により、穀粒水分 30%程度での降雨以後収穫と比較して、粉色及び加工適性の高い小麦を得ることが可能であった。一般的に穀粒水分 30～35%以下の適正水分での収穫が望ましいとされているが、乾燥機への投入遅れ等がなく適切に乾燥が行える条件下であれば、穀粒水分 40%程度の高水分収穫は降雨以後に収穫する場合より、高品質の小麦を得られるといえる。また、降雨後の穀粒水分 40%程度での収穫において、バインダ区及び常温乾燥区では乾燥の遅れによる品質劣化が生じたと考えられ、加熱通風による迅速な乾燥が望ましいといえる。

普通コンバインについては、元々、畑作用の大規模生産向けの機械であるため、国内の普及台数は自脱コンバインに及ばないが、大規模畑作を行う小麦生産現場では多く用いられている。しかし、適期水分での収穫を想定した設計であるため、高水分小麦収穫時の作業の指針は無く、収穫作業においては作業者の経験に依るところが大きい。

そこで普通コンバインによる高水分小麦収穫について、収穫時期や穀物水分条件などの作物条件及びコンバイン設定などの作業条件と品質劣化程度の関係

を明らかにし、品質を出来るだけ劣化させずに収穫作業を行うための指針とすることを目的として検討を行った。なお、自脱コンバイン試験と同様に試験には市販のコンバインを無改造で供試し、高水分期から収穫適期とされる時期まで連続的なデータ収集を行った。

普通コンバインを用いて穀粒水分 18～47%の条件で小麦収穫試験を行い、収穫条件及び乾燥条件について、作業精度及び品質面から検討し、以下の知見を得た。

高水分小麦収穫では、機械的には穀粒水分 45%程度、ワラ水分 60%程度の時期に普通コンバインで収穫可能であった。その際、作業精度は収穫時の穀粒損失 3%以下、穀粒損傷は穀粒水分 45%以上で最大 5%程度、40%以下で 1%以下であった。

作業条件では扱胴回転数を種子穀粒刈取設定など可能な範囲で低回転とし、高水分条件であっても作業上詰りなどの問題がある場合以外は出来るだけ通常の色を落さず作業することで粉色の向上が見込めることが示された。扱胴回転数を 10%程度低下させた場合、粉色に関してL*値の明確な改善は見られなかったが、反射率の改善は認められた。

収穫時期及び乾燥条件について、穀粒水分 45%程度では 40℃程度で加熱乾燥を行った場合、乾燥遅れから劣化し易い静置式常温通風乾燥に比べて、迅速に乾燥でき高品質の小麦を得ることができた。粉色について、L*値では経時的な劣化は認められなかったものの、反射率は経時的に低下傾向を示し、穀粒水分 40%以上であっても早期の収穫の値が優れるとの傾向を得た。しかし、千粒重及び屑粒割合等の作物条件、作業精度、また、収穫後における乾燥作業中の品質劣化の危険性から登熟後の穀粒水分 40%以下となった時期の収穫が望ましいといえる。

また、普通コンバイン収穫試験では、登熟期から収穫期に掛けて降雨がちで

あり、デンプン品質及び生地特性は収穫時期を通して比較的低位で推移した。このような場合、遭雨による更なる劣化を進めないために収穫が急がれると同時に収穫後の乾燥過程における品質劣化を抑える必要がある。具体的には、多くの乾燥機では対象水分を30%以下としているので、30%以上の穀粒を乾燥させる場合には投入量を少なくして乾燥能力に余裕をもたせ、ブリッジを起さないように十分に留意する必要がある。

小麦は降雨による倒伏、穂発芽等を避けるため、通常推奨されているコンバイン収穫適期以前に穀粒水分が30%を超える状態で収穫されることも多い。さらに、第2章で検討したように、近年のコンバインでは40%近い穀物水分でも収穫可能であるため（金井，2005a，金井ら，2005b），高水分小麦へ対応した乾燥調製技術が望まれている（玉城，2005）。

実際に穀粒水分30%以上で早刈りされた高水分小麦は、成熟途上の緑粒も含まれ成熟度も一様でなく、水分分布も20%台から40%以上までの広い範囲に渡っている。品質劣化を生じさせない加熱温度の限界は水分により異なるため、水分分布幅が広いことによって乾燥条件の最適化が困難となり、乾燥調製作業が難しい一因となっている。一方、小麦粒は高水分では膨満で粒厚が大きく、低水分では粒厚が小さいというように水分含量が粒厚に直接反映することが経験的に知られている。このことに着目して第3章，第4章，第5章では、粒厚選別による水分選別技術を用いた水分別の乾燥調製技術を新たな乾燥技術として提案することを目的として試験を行った。

第3章においては、粒厚選別による水分選別について基礎的なデータの蓄積を目的として、選別粒厚と水分の関係及び粒厚選別作業に回転式選別機を利用した水分選別について検討を行うと同時に、目開き3.2mmの篩にて粒厚選別した際の原麦成分について検討し、以下の知見を得た。

収穫時期が遅くなるに従い、乾燥前の粒厚は成熟に伴う水分の減少から小さくなり、乾燥後の粒厚は粒の充実から大きくなるという経時変化が認められた。また、収穫時に高水分である粒ほど乾燥後の粒厚の減少も大きかった。

「農林 61 号」及び「あやひかり」の高水分小麦は、高水分粒ほど粒厚が厚い傾向が認められた。また、食糧庁型縦目篩による検討から、高水分小麦を粒厚選別により二分して水分別乾燥を行う場合、選別粒厚が 3.0～3.4mm 程度のときに篩の上下での水分差が大きく、適当であるとの知見が得られた。

回転式粒厚選別機を用いて、目開き 3.0mm, 3.2mm, 3.4mm にて乾燥前小麦の選別試験を行った結果、水分に基づく二分割の水分選別を行う場合には目開き 3.2mm の篩を用いることにより、収穫する可能性のある水分である 35%前後の時期にほぼ均分できるとの知見を得た。また、水分 30～45%の小麦は流動性が悪く、選別能率は乾燥麦の 3 割程度であった。

原麦成分では篩上区が灰分、タンパク含量とも篩下区より常に高く、無選別のものはその中間の値であった。小麦粉成分でも同様に、灰分、タンパク含量は篩上区が篩下区より常に高く、無選別のものはその中間の値であった。

第 4 章においては、粒厚選別による水分選別後の最適な乾燥条件を明らかにすることを目的とし、乾燥工程前の小麦を回転式の粒厚選別機を用いて選別し、異なる通風条件下及び温度条件下にて乾燥を行い、小麦粒色、小麦粉の粉色及び澱粉品質の面から検討した。

水分選別乾燥について、篩下区、無選別区、篩上区の順に粉色が好ましいとの傾向が示された。澱粉品質については乾燥工程時に通風が少ない場合でも、低水分の篩下区は劣化し難く、高水分の篩上区は劣化し易い傾向が認められた。

乾燥条件について、薄層乾燥の場合には乾燥温度による明確な影響は認められなかった。循環式乾燥機のブリッジによる循環不良等を想定した無通風条件では、乾燥温度 40℃の場合に澱粉品質が大きく劣化し、50℃でも澱粉品質の劣

化が見られ、60℃の場合には粒色の変化も大きく、粉色の顕著な劣化が認められた。乾燥温度 50℃の場合は粉色、澱粉品質とも大きな劣化は認められなかった。

薄層乾燥及び無通風条件における乾燥試験から、乾燥工程における品質劣化は通風条件に大きく影響を受け、通常安全とされる乾燥温度 40℃であっても無通風となれば劣化し、逆に乾燥温度が 60℃でも十分な通風があれば劣化し難いとの結果を得た。高水分小麦の乾燥の際には通風の維持に留意することが重要である。

第 5 章では水分選別乾燥の実用的な試験として、実際に農家で使用される循環式乾燥機を用いた乾燥試験を行った。粒厚選別による水分選別作業は、大量処理の可能な回転式の粒厚選別機にて、目開き 3.2mm の篩を用いた。乾燥試験においては、水分選別により初期水分の異なる小麦の乾燥過程を詳細に検討するため、給排気及び穀温を連続的に測定した。また、粒厚選別による水分選別乾燥が製粉後の小麦粉品質に与える影響について検討した。乾燥処理前の小麦を目開き 3.2mm の篩にて粒厚選別し、水分別に乾燥処理を行い、成分品質及び小麦粉品質にどのような影響を与えるか実験的に検討し、以下の知見を得た。

原麦成分については、第 3 章で得られた知見と同様に、篩上区が灰分、タンパク含量とも篩下区より常に高く、無選別のものはその中間の値であった。小麦粉成分でも同様に、灰分、タンパク含量は篩上区が篩下区より常に高く、無選別のものはその中間の値であった。

また、小麦粉粉色について C. G. V. による検討から、好ましい順に篩下区、無選別区、篩上区となり、粉色を低下させるとされる灰分、タンパク含量とは逆の順であった。

生地特性について、アミログラム、ファリノグラム、エクステンソグラムのいずれの項目も粒厚選別を行った乾燥区ごとに特性の違いが認められたが、一

一般的に小麦粉の優劣を判断できるような相違は認められなかった。

また、循環式乾燥機で張込量が同等の場合、初期水分の違いにより、篩下区、無選別区、篩上区の順に乾燥作業が完了し、篩下区と篩上区では7時間程度の差があった。

これらの結果から、本乾燥方式を導入した場合、篩上区と篩下区の混合比率を変えて製粉することで、粉色、生地特性を調整できる可能性がある。また、初期水分の低い篩下区は初期水分の高い篩上区や無選別区と比較して乾燥時間を短縮できるため、複数台の乾燥機で乾燥を行う場合、乾燥機のスケジュール管理の自由度を上げられる可能性がある。

今後の課題として以下の点が挙げられる。まず、市販型コンバインを用いて以下に品質劣化を低く抑えて収穫作業が行えるかという観点から考察を行った。品質劣化を起さない作業設定について定性的な傾向について明らかになったものの、定量的に解明するには到らず、適切な設定は各コンバインにより異なるため、実用に際しては機体ごとに最適設定を検討する必要がある。

次に、粒厚選別による水分別乾燥技術について小麦粉品質の観点から検討を行ったが、実用に際しては設備及び作業の煩雑化について経営及び作業能率の面からの考察が不可欠である。特に、慣行のシステムから本技術の導入により付加される人件費、設備費について、本技術導入による製品の付加価値により償却できる範囲であるかどうかの検討が必要である。

**Research and development to advance harvesting and drying processes
adapted to high-moisture wheat grain**

Genta Kanai

Summary

Nowadays, consumers demand high-quality foods. Development of agricultural processes is necessary to answer that demand. This research is intended to develop harvesting and drying processes of wheat grain. For this study, Japanese wheat was chosen as the object of the research. In Japanese markets, high-quality grains are demanded by consumers. But the circumstances of production are very severe and it is difficult to produce high-quality wheat grains because the climate of the wheat harvesting season (June) is also the rainy season in Japan.

Chapter 1 introduces the background of this study and reviews former studies mainly in the field of harvesting and drying.

Chapter 2 describes examinations to improve harvesting operations. Methods to reduce grain degradation resulting from harvesting processes were examined using popular types of harvesters, head-feeding and ordinary-type combines.

The head-feeding combine was invented originally to harvest rice; it is very popular in Japan. It is also used to harvest wheat, but there is insufficient knowledge to harvest high-moisture wheat.

Harvesting tests of high-moisture wheat grain (30–45%w.b.) were made using a head-feeding combine. Time of harvest, combine settings,

and drying conditions were evaluated through comparison of operation precision and quality of grains and flour. Experiments demonstrated that 45%-moisture-content grain was harvestable with no machine trouble with a chaff rate of the grain outlet of less than about 5%, total grain loss of less than about 2%, and damaged grain of less than about 1%. Harvesting of around 40%-moisture-content grain with rapid drying can provide better quality than harvesting with lower moisture contents after rainfall. Harvesting with a low-rotation-speed threshing cylinder and normal operational speed improved the flour color. The color differential in comparison to that harvested by binder was less than 0.6.

The ordinary-type combine was invented and introduced to Japan for large-field operations. However, there is insufficient knowledge to harvest high-moisture wheat.

Harvesting tests of high-moisture wheat grains of 18–47% were made using an ordinary-type combine. Time of harvest, combine settings and drying conditions were evaluated through comparison of operation precision and respective qualities of the harvested grains and flour.

Harvesting of grain with less than 40% moisture content was demonstrated as preferable for grain quality, harvesting precision, and drying ease. However, from a mechanical perspective, 45% grain was harvestable with no difficulty. The total grain loss through all experiments was less than 3%. The damaged grain rate was around 5% or less for grains over 45% moisture content, and less than 1% for grains under 40%.

Harvesting with a low-rotation-speed threshing cylinder and normal operational speed improved the flour color, especially for wheat with more

than 45% moisture contents. Grain dried using 40°C heated air had higher RVA quality as measured using an analyzer (Rapid Visco Analyzer RVA-3D; Newport Scientific Pty. Ltd.) than grain dried using normal air for grains around 45%.

As explained in Chapters 3–5, a new drying method has been investigated. For wheat production, the drying process is crucial for wheat quality. Wheat matures and dries unevenly, even within a single field. It is impossible for an elevator to gather grain with identical moisture contents because each batch of grain from the fields has different moisture contents. Wheat after drying tends to exhibit a non-uniform quality because of its heterogeneous initial conditions.

In this regard, Japanese wheat production faces a serious predicament. Unfortunately the wheat harvesting season (June) is also the rainy season in Japan. Although Japanese farmers are directed to harvest sufficient wheat that is dried to less than 27% moisture contents, to avoid rain damage, many farmers harvest wheat before it is sufficiently dried. Such early harvested and high-moisture content wheat grain tends to degrade, especially in terms of starch quality, because of delayed drying. Japanese wheat is mainly consumed as *Udon* noodles. Starch quality directly affects noodle taste and texture. Therefore, drying process improvements are necessary not only to alleviate uneven drying, but also to dry high-moisture content wheat grain.

A new method for early harvested and high-moisture content wheat grain has been developed: classification drying based on moisture content using a size-grader. Grain size is roughly proportional to its moisture

contents. Based on that fact, this method classifies grains into groups by size. They are thereby classified according to their moisture content. Classified groups' moisture content distribution curves are narrower. Each group is dried under appropriate conditions based on moisture content. This method enables more uniform initial moisture content for each drier and more uniform quality after drying than a temporary method.

Chapter 3 specifically elucidates the relationship between grain thickness and moisture content and thereby establishes the best grading size, the moisture content distribution of each thickness group, and the consequent thickness distribution of grains examined before and after drying. In addition, a rotary grader was used to perform a practical grading test.

Regarding pre-dried grain thickness, later-harvested grain thins as it dries in the field. However, after drying, the later-harvested grains are thicker as a result of their relative maturation. Observations of grain thickness and moisture contents using a sieve with the Japanese Food Agency standard indicated that the best sieve size to separate high-moisture wheat grains is 3.0–3.4 mm. The resultant two groups have higher and lower moisture contents. Tests using a rotary grader with 3.0, 3.2, and 3.4 mm sieves indicated that a 3.2 mm sieve is best for roughly equal separation of grains at around 35% moisture content. The grading capacity of high-moisture grains was about 30% of that of dried grain because of its high friction properties.

Chapter 4 describes an examination of the effects of drying conditions of classified grain on flour quality to develop a drying classification

according to moisture contents using the grain thickness classification. The grain classification was done using a 3.2-mm sieve. Subsequently, the respectively classified grain groups were dried. The drying conditions were thin-layer drying at 50°C and 60°C, and no-air-flow drying at 40°C, 50°C and 60°C. The flour color was measured using a spectral diffraction colorimeter (CM3500; Konica Minolta Holdings Inc. Co. Ltd.) and starch properties were assessed using a Rapid Visco Analyzer (RVA-3D; Newport Scientific Pty. Ltd.).

Flour color was improved in the following order of groups: thinner, not-classified, and thicker. The starch quality of the thinner group, which had low moisture content, was hard to degrade, but that of the thicker grain, which has higher moisture content, was easily degraded.

In thin-layer drying, the drying temperature did not affect flour quality. In no-air-flow drying, 40°C drying caused starch degradation, 60°C caused flour color degradation, and 50°C caused no major degradation.

Previously, 40°C drying had been inferred as sufficiently safe for high-moisture grain. However, these results show that 40°C drying without airflow degrades the grain and that 60°C drying with sufficient airflow does not cause degradation.

Using that grain thickness classification, Chapter 5 describes experiments that were performed to develop a classification system for drying according to moisture contents. Grain contents were examined and classified using a rotary grader and a 3.2 mm sieve. The classified and non-classified grain groups were examined for flour qualities after drying

with a recirculating batch drier.

Regarding grain contents, ash and protein contents of the thicker grain group are higher than those of the thinner grain group. Non-classified grains have a median value. Flour of thicker grains also has higher ash and protein contents than that of thinner grains; non-classified grains are median.

Because of different initial moisture contents of grain groups, the recirculating batch drier finished drying of almost equal amounts of grain in the following order: thinner, non-classified, and thicker. Thicker grains required 7 h longer than thinner ones to finish drying.

Flour color evaluated using the color grader value (CGV) was preferable in the following order: thinner, not-classified, and thicker. The order was opposite that of the order of ash and protein contents, both of which are inferred to degrade the flour color.

Amylograph, farinograph and extensograph tests indicate that the groups have different dough properties, but those differences do not affect flour quality.

Chapter 6 summarizes the information of Chapters 1–5. In this study, for the harvesting process, the relation between combine settings and flour qualities, were clarified in terms of qualitative aspects but quantitative aspects remain unclear. For the drying process, the new method was proposed and its properties were clarified. Nevertheless, management discussion from the viewpoint of cost is necessary to introduce the method.

謝 辞

本研究を博士論文の形に取纏めるにあたり，筑波大学大学院生命環境科学研究科 佐竹隆顕教授より，全般に渡って御指導頂きました。ここに厚く御礼申し上げます。また，筑波大学生命環境科学研究科 山口智治教授，同研究科 杉浦則夫教授，同研究科 久島繁教授には，本研究論文の御校閲，御助言を頂きました。ここに御礼申し上げます。

本研究の遂行にあたり，独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構 中央農業総合研究センター 旧・作業技術研究部 佐々木泰弘部長，旧・施設利用研究室 玉城勝彦室長，旧・施設利用研究室 長崎裕司主任研究官をはじめとする旧・作業技術研究部の方々から，貴重な御助言，御協力を頂きました。ここに感謝の意を表します。

本研究の実施に不可欠であった多くの圃場作業および機械操作については，同 中央農業研究センター 一石司夫氏，南指原哲也氏をはじめ研究支援センターの方々にお世話になりました。ここに感謝の意を表します。

また，実験に際して，同 作物研究所 旧・麦類栽培生理研究室 渡邊良昭室長，金子成延主任研究官，旧・小麦育種研究室 藤田雅也室長には，快く測定機の貸借等の御協力を頂きました。ここに感謝の意を表します。

さらに，筑波大学生命環境科学研究科食料プロセス工学研究室の皆様，独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構 中央農業総合研究センター 糸川信弘研究管理監，バイオマス資源循環研究チームの方々，および関係者各位には本研究論文取纏め期間中，御協力頂きましたので感謝致します。

引用・参考文献

- 1) Allen, J. R. (1960): Application of grain drying theory to the drying of maize and rice, Journal of agricultural engineering research, 5(4), 363-385.
- 2) Becker, H. A. (1960): On the absorption of liquid water by the wheat kernel, Cereal chemistry, 37, 309-323.
- 3) Bushuk, A., Hlynka, I. (1960): Weight and volume changes in wheat during sorption and desorption of moisture, Cereal chemistry, 37, 390-398.
- 4) Chen, C. (2001): Moisture measurement of grain using humidity sensors, Transactions of the ASAE, 44(5), 1241-1245.
- 5) Chung, D. S., Pfoost, H. B. (1967): Adsorption and desorption of water vapor by cereal grains and their products (part 1), Transactions of the ASAE, 10, 549-551.
- 6) Chung, D. S., Pfoost, H. B. (1967): Adsorption and desorption of water vapor by cereal grains and their products (part 2), Transactions of the ASAE, 10, 552-555.
- 7) 江口昭彦, 堀野俊郎, 細田浩, 前田万里(1987): 小麦の早刈及び多肥条件が「ゆでめん」品質に及ぼす影響(第1報), 日本作物学会紀事, 56 別, 242-243.
- 8) 江口昭彦, 堀野俊郎, 細田浩, 前田万里(1987): 小麦の早刈及び多肥条件が「ゆでめん」品質に及ぼす影響(第2報), 日本作物学会紀事, 56 別, 244-245.
- 9) 江口昭彦, 堀野俊郎, 前田万里, 細田浩(1988): 小麦品質に関する研究(第4報), 日本作物学会紀事, 57 別, 111-112.
- 10) 江崎春雄(1968): VIIコンバインの水稻収穫時の作業精度, コンバインの性能向上に関する研究, 農業機械化研究所, 大宮, 75-82.
- 11) 江崎春雄, 三浦恭志郎, 今園支和, 鈴木正肚, 間中正雄(1972): 自脱コン

バインの高性能化に関する研究，研究所報告第9号，農業機械化研究所，大宮，28-41.

- 12) Finney, K. F., Natuaki, O., Bolte, L. C., Mathewson, P. R., Pomeranz, Y. (1981): Alpha-amylase in field-sprouted wheats: Its distribution and effect on Japanese-type sponge cake and related physical and chemical tests, Cereal Chemistry, 58(4), 355-359.
- 13) 後藤寛治(1990)：ヨーロッパにおけるコムギの収量事情，日本作物学会紀事，59(2)390-394.
- 14) 原英雄，小島勝次郎，入口義春，本多利久(1991)：裸麦の自脱型コンバインによる収穫適期について，九州農業研究，53，154.
- 15) 平野寿助，吉田博哉，江口久夫(1969)：暖地におけるコムギの良質化栽培に関する研究(第3報)収穫時期・乾燥剤散布および乾燥方法と品質との関係，中国農業試験場報告，A17，113-126.
- 16) 北海道立十勝農試(1992)：高水分小麦の乾燥技術開発，研究成果情報，総合農業平成3年度版.
- 17) 北海道立中央農業試験場穀物利用科(1998)：気象要因に基づく低アミロ小麦の発生危険度の予測，研究成果情報平成10年度版，
<http://www.cryo.affrc.go.jp/seika/h10/cryo98134.html>
- 18) 北海道立中央農業試験場穀物利用課(2000)： α -アミラーゼ活性自動分析装置による小麦収穫物の品質判定，研究成果情報平成12年度版，
<http://www.agri.pref.hokkaido.jp/center/kenkyuseika/gaiyosho/h12gaiyo/2000408.htm>
- 19) 北海道立中央農業試験場(2001a)：平成12年度北海道立中央農業試験場年報，55
- 20) 北海道立中央農業試験場(2001b)：今までよりも早く小麦の収穫ができます，

<http://www.chuo.agri.pref.hokkaido.jp/chuo/photopics/komcom/komcomex.htm>

- 21) 星野次汪, 谷口義則, 伊藤誠治(1992): 東北地方におけるコムギの品質に関する研究, 日本作物学会紀事, 61(3), 375-379.
- 22) 星野次汪, 伊藤誠治, 谷口義則, 佐藤暁子(1994): 東北地方におけるコムギの品質に関する研究(第2報), 日本作物学会紀事, 63(1), 21-25.
- 23) 星野次汪(2002): 小麦の現状と今後への期待, 農業技術, 57(5), 193-197.
- 24) 本多一郎, 小柳敦史, 和田道宏(2001): 降雨による収穫の遅れが小麦の品質に及ぼす影響, 日本作物学会紀事, 70(別1号), 234-235.
- 25) 藤田雅也(2006): 麦の品種と育種, 農耕と園芸, 2006年2月号, 100-101.
- 26) 福岡忠彦, 堀野俊郎(1989): 小麦とその60%粉の窒素およびミネラル含量, 日本作物学会紀事, 58(4), 502-506.
- 27) 諫山忠幸(1982): 第1章小麦および小麦粉の歴史, 日本の小麦産業, 地球社, 東京, 1-4.
- 28) 一ノ瀬靖則, 箱山晋(1995): コムギの登熟に伴う種子胚のABA感受性と α -アミラーゼ活性の変動, 日本作物学会紀事, 64(別1), 138-139.
- 29) Jeffers, H. C., Rubenthaler, G. L. (1977): Effect of roll temperature on flour yield with the Brabender quaderumat experimental mills, Cereal Chemistry, 54(4), 1018-1025.
- 30) 甲斐由美, 江口久夫, 佐藤淳一, 広川文彦(1997): 小麦の品質に及ぼす土壌加湿処理の影響, 中国農業試験場研究報告, 第17号, 41-52.
- 31) 加藤雄久, 岡崎紘一郎, 石田茂樹(1983): 十勝における秋播コムギの収穫遅延に伴う被害, 北海道農業試験場研究資料, 22, 55-59.
- 32) 華岩, 小中俊雄, 瀬能誠之(1993): 共乾施設の荷受工程に関する研究(第1報), 農業施設, 24(1), 1-6.

- 33) 華岩, 小中俊雄, 瀬能誠之(1993): 共乾施設の荷受工程に関する研究(第2報), 農業施設, 24(2), 57-64.
- 34) 金井源太(2005a): 高水分コムギのコンバイン収穫, 農業技術大系作物編 追録第26号(農文協編), 農文協, 基417-421.
- 35) 金井源太・玉城勝彦・長崎裕司(2005b): 自脱コンバインによる高水分小麦収穫, 農業機械学会誌, 67(3), 96-105.
- 36) 金井源太・玉城勝彦・長崎裕司(2006a): 普通コンバインによる高水分小麦収穫, 農業機械学会誌, 68(1), 87-95.
- 37) 金井源太・玉城勝彦・長崎裕司・佐竹隆頭(2006b): 高水分小麦の粒厚による水分選別の可能性, 農業施設, 37(1), 11-18.
- 38) 川崎健(1980): ムギ(水田ムギ)の収穫・乾燥, 農業技術体系, 農文協, 追録第2号, 基388-411.
- 39) 川崎健, 伊藤茂昭, 長谷川三喜, 片山正(1981): 多段落下型乾燥機による高水分裸麦の乾燥法に関する研究
- 40) 川崎健, 長谷川三喜, 糸川信弘(1985): 高水分小麦の収穫方式と品質評価, 農作業研究, 54, 19-36.
- 41) King, D. L., Riddolls, A. W. (1960): Damage to wheat and pea seed in threshing, Journal of agricultural engineering research, 5(4), 387-397.
- 42) 近畿中国四国農業研究センター小麦育種研究室(1999): 小麦民間流通における品質評価基準について,
<http://www.cgk.affrc.go.jp/sakukai/hataiku/FN.html>
- 43) 木谷裕亮, 堀田博, 本多一郎(2002): 国内産小麦粉色相とミネラル含量の関係, 日本食品科学工学会誌, 49(1), 49-52.
- 44) 小松原仁(1994): 色彩科学ハンドブック第2版, 東京大学出版会, 東京,

288-290.

- 45) 小松崎将一, 遠藤織太郎, 吉崎繁, 大崎和二(1994): 畑作における麦類の自生作物化と作付体系に関する研究, 農作業研究, 29(1), 14-20.
- 46) 小綿美環子, 渡辺満, 佐藤暁子(1996): リン酸塩増肥がコムギの粉色および製粉特性に及ぼす影響, 日本作物学会紀事, 65(別2), 27-28.
- 47) 小綿美環子, 中村信吾, 渡辺満, 安井明美(1999): 粗タンパク含量がコムギ種子の胚乳色に及ぼす影響, 日本作物学会紀事, 68(別2), 252-253.
- 48) 熊谷健, 桑原達雄, 入来規雄, 田端聖司, 山内富士雄(1986): 小麦粉の簡易品質検定法について, 北海道農業試験場研究資料, 31, 1-15.
- 49) 栗原浩, 蓬原雄三, 津野幸人, 千葉浩三, 笠原隆(2000): 第5章麦類, 作物栽培の基礎, 農産漁村文化協会, 東京, 206-230.
- 50) 黒田晃, 織田俊介, 宮川三郎, 瀬古秀文(1983): 雨害による小麦品質の変化, 日本作物学会紀事, 62(別1), 72-73.
- 51) 松崎守夫, 豊田政一(1997): コムギ品質の登熟にともなう推移(第1報), 日本作物学会紀事, 66(2), 177-182.
- 52) 松崎守夫, 豊田政一(1996): コムギ登熟期の気象条件と粉のアミログラム最高粘度, 日本作物学会紀事, 65(4), 569-574.
- 53) 松崎守夫, 豊田政一(1997): コムギ品質の登熟にともなう推移(第2報), 日本作物学会紀事, 66(2), 183-188.
- 54) McNeill, S., Overhults, D. (不明): Harvesting, Drying, and Storing Wheat, <http://www.ca.uky.edu/agc/pubs/id125/10.pdf>
- 55) 三重県中央農業改良普及センター(2000): 売れる麦づくり栽培指針, <http://www.mate.pref.mie.jp/mugisaibai/syukaku.htm>
- 56) 三原実, 馬場崎一俊(1991): 汎用コンバインによるビール大麦の収穫技術, 九州農業研究, 53, 153.

- 57) 三原実, 小森辰巳(2000) : 高水分麦のフレコン一時貯留における吸引通風の効果, 九州農業研究, 62, 152.
- 58) 桃野寛, 岡田直樹, 大村邦彦(1998) : 普通型コンバイン等の汎用利用による小麦穂収穫乾燥システム, 研究成果情報平成9年度版,
<http://www.cryo.affrc.go.jp/seika/h09/do97011.htm>
- 59) 森下光宏, 川中道夫(1990) : 水稻の粒別初水分の分布と刈取り適期, 日本作物学会紀事, 59 別 1, 54-55.
- 60) 長尾精一(1998) : 世界の小麦の生産と品質(上・下), 輸入食料協議会, 東京.
- 61) 中津智史, 埜村朋之, 今井徹(1997) : オートアナライザーによる低アミノ小麦の簡易迅速検定法, 日本作物学会紀事, 66(1), 35-41.
- 62) 中津智史(1998) : コムギ子実吸水における吸水時間と子実水分が発芽および α -アミラーゼ活性に及ぼす影響, 日本作物学会紀事, 67(2), 165-169.
- 63) 農業機械化研究所(1984) : 農機具型式検査, 検査資料 No. 10, 農業機械化研究所, 大宮, 77-91.
- 64) 農文協(1981) : 畑作全書ムギ類編, 農文協, 497-501.
- 65) 農林水産省技術会議事務局(1968) : 小麦品質検定方法, 農林水産省技術会議事務局, 東京, 29-46.
- 66) 農林水産省農蚕園芸局長(1978) : 麦の収穫・乾燥に当たっての留意事項について, 53 農蚕第 3360 号,
http://www.kanboou.maff.go.jp/www/gichou/agri_tech/B04_mugiryu.htm
- 67) 農林水産省(2000) : 農林水産研究文献解題 23 麦,
http://rms1.agsearch.agropedia.affrc.go.jp/contents/kaidai/mugi/23-6-3_h.html
- 68) 農林水産省農産園芸課(2000) : 麦に関する資料,

- <http://www.office.pref.iwate.jp/~hp0503/hata-toku/mugi-genjou.html>
- 69) 農林水産省(2006) : 麦を巡る情勢,
http://www.maff.go.jp/www/press/cont2/20060313press_2g.pdf
- 70) 岡崎紘一郎, 石田茂樹, 加藤雄久, 石原修二(1982) : コムギのモーア刈り地干し方式によるコンバイン収穫法, 北海道農業試験場研究報告, 第 135 号, 31-36.
- 71) Oliver, J. R., Blakeney, A. B., Allen, H. M. (1992) : Measurement of flour color in color space parameters, cereal chemistry, 69(5), 546-551.
- 72) 小野正則, 金丸隆, 藤井秀明(1992) : 汎用コンバインがビール大麦の発芽力に及ぼす影響, 九州農業研究, 54, 175.
- 73) 小柳敦史, 小前幸三, 荒尾和人, 金森哲夫, 和田道宏(1995) : 窒素追肥が小麦粉の粒径とタンパク質含量に及ぼす影響, 日本作物学会紀事, 64(別 1), 76-77.
- 74) 埼玉県農業試験場環境資源部(1996) : 栄養診断、出穂始期葉面散布による小麦の多収・粗蛋白含有率適正化技術, 研究成果情報平成 7 年度版, 14-15.
- 75) 佐々木泰弘(1982) : 高水分麦の収穫乾燥技術(1), 農業技術, 37(7), 299-303.
- 76) 佐々木泰弘(1982) : 高水分麦の収穫乾燥技術(2), 農業技術, 37(8), 358-363.
- 77) 佐竹覺, 福森武, 目崎孝昌, 宗貞健, 柴田恒彦, 池田義郎(2000) : 小麦粒の組織と硬さおよび強度に関する研究, 農業施設, 62(6), 37-49.
- 78) 佐藤暁子, 小綿美環子, 中村信吾, 渡辺満(1999) : コムギの製パン適性に及ぼす窒素追肥時期の影響, 日本作物学会紀事, 68(2), 217-223.
- 79) 佐藤暁子, 小綿美環子, 中村信吾, 渡辺満(1999) : コムギ系統東北 205 号の製パン適性に及ぼす収穫時期の影響, 日本作物学会紀事, 68(2), 306-309.

- 80) 関正裕, 高橋仁康, 田坂幸平, 平将人, 関昌子, 田谷省三(2002) : 乾燥前小麦の品質変化について, 九州農業研究, 64, 148.
- 81) 関正裕(2005) : 高水分コムギのハイブリッド乾燥, 農業技術大系作物編追録第 26 号(農文協編), 農文協, 基 423-430.
- 82) 食品総合研究所素材利用部穀類利用研究室(1994) : アミラーゼ活性値を用いた低アミロ小麦の多点迅速検出法, 平成 6 年度版成果情報,
http://riss.narc.go.jp/seika/data_narac/h06/narc94a/narc94a020.html
- 83) Shuey, W. C. , Skarsaune, S. K. (1973) : The relation between flour mineral content and flour color reflectance values, Cereal science today, 18(8), 229-230.
- 84) 下名迫寛, 石束宣明, 澤村篤(1989) : 収穫方法、収穫時期の違いが小麦品質に及ぼす影響, 研究成果情報, 総合農業平成元年度版, 農業研究センター, 175-176.
- 85) 平春枝, 田中弘美, 斎藤昌義(1989) : 国産小麦の品質, 日本作物学会紀事, 58(1), 24-34.
- 86) 高橋圭二, 山島由光, 原令幸, 中津智史, 佐々木宏(1990) : 高水分小麦の一時貯留について, 北海道立農業試験場集報, 61, 21-29.
- 87) 玉城勝彦(2005) : 収穫・乾燥の現状と今後の方向性, 農業技術大系作物編追録第 26 号(農文協編), 農文協, 基 413-415.
- 88) 谷口義則(1990) : コンバインによる早刈りが小麦品質に及ぼす影響, 東北農業研究, 43, 111-112.
- 89) Taylor, R. K. , Schrock, M. D. (1995) : Harvesting wheat, Cooperative extension service, Kansas state university, Manhattan, MF2026, 1-4.
- 90) 富樫辰志(1994) : 自脱コンバインによる高水分コムギの収穫条件が加工品質に及ぼす影響, 九州農業試験場ニュース, 59, 3.

- 91) 富樫辰志, 西田初生, 伊藤茂昭(1996): 高水分小麦の乾燥風温が加工適性に及ぼす影響, 九州農業研究, 58, 178.
- 92) 富樫辰志, 西田初生, 伊藤茂昭(1996): 高水分小麦の低温一時貯留条件が加工適性に及ぼす影響, 九州農業研究, 58, 179.
- 93) 十勝農試農業機械科(1990): 高水分小麦の乾燥技術開発, 研究成果情報, 総合農業平成2年度版.
- 94) 戸次英二(1999): 穀物水分1kgの乾減に要するエネルギー量, 農業施設, 30(2), 193-203.
- 95) 豊田浄彦, 前川孝昭, 山沢新吾(1981): 穀類の吸湿現象に関する基礎的研究, 農業機械学会誌, 43(3), 459-467.
- 96) 山下律也, 笈田昭(1965): 粉の水分移行について, 農業機械学会誌, 27(4), 261-265.
- 97) 山下律也(1975): 「穀物の含水率測定方法基準」についての提案, 農業機械学会誌, 37(3), 445-451.
- 98) Yasunaga, T., Uemura, M. (1962): Evaluation of color characteristics of flours obtained from various types and varieties of wheat, Cereal chemistry, 39, 171-183.