

硬質小麦品種「ミナミノカオリ」の収量向上および 子実タンパク質含有率制御技術

土谷大輔

キーワード：硬質小麦，ミナミノカオリ，収量，子実タンパク質含有率，葉身長，SPAD値

A Study of Yield Improvement and Control the Grain Protein Concentration of Hard Wheat
Variety “Minaminokaori”

Daisuke TSUCHIYA

目次

1. 緒言	14
2. 収量向上技術	14
1) 背景	14
2) 材料および方法	14
3) 結果および考察	15
3. 子実タンパク質含有率制御技術	19
1) 背景	19
2) 材料および方法	19
3) 結果および考察	19
4. 総合考察	22
5. 摘要	25
6. 引用文献	25
7. Summary	26

1. 結 言

本県の島原地区は手延べ素麺の有名な生産地である。全国第2位の生産量でシェア30%、生産額は50億円を誇り、地域産業の中で重要な地位を占めている。この島原地区において、近年の地産地消の動きの中で、地場産小麦を使って素麺を製造したいという要望があった。そこで、島原地区で栽培されていた「チクゴイズミ」を用いて、素麺の試作検討がなされたが満足できるものができず商品化には至らなかった。これは、「チクゴイズミ」の子実タンパク質含有率が手延べ素麺原料としては低いことが原因である。本県で栽培されている小麦品種「チクゴイズミ」、「シロガネコムギ」の主な用途は菓子用であり、子実タンパク質含有率は9~10%である。これに対し、手延べ素麺原料用としては子実タンパク質含有率12%以上が求められ、「チクゴイズミ」、「シロガネコムギ」では、子実タンパク質含有率を12%以上に向上させることは非常に困難である。

このような状況のなか、2004年に九州沖縄農業研究センターで子実タンパク質含有率の高い硬質小麦品種「ミナミノカオリ」が育成された¹⁾。この「ミナミノカオリ」を用いて素麺を試作したところ良好な結果が得られたことから、2006年に本県の奨励品種に採用した。

「ミナミノカオリ」は従来栽培されていた「チクゴイズミ」に比較して子実タンパク質含有率が2~

3%高く、手延べ素麺原料に適している。また、現在では五島手延べうどんの原料用として、五島地区でも生産が開始されている。しかし、栽培面においては穂数が確保しにくく、本県の主要な小麦品種の栽培法では収量が低いという課題が残されている。

また、「ミナミノカオリ」の主な用途である手延べ素麺に適する小麦粉を得るためには、子実タンパク質含有率を12%以上に制御することが必要となる。このため、従来の小麦では実施しなかった穂揃期追肥が必要となるが、その施肥量については麦の生育状況に対応し決定する必要がある。つまり、麦の生育状況をもとに子実タンパク質含有率を予測し、かつ、穂揃期追肥における単位窒素量あたりの子実タンパク質含有率向上率を明らかにすることで、目標とする値に制御するための施肥量が決定できる。これまでに、「ミナミノカオリ」の子実タンパク質含有率は、穂揃期の葉色値（以下、SPAD値とする）および葉面積と関係が深く、その必要とされる子実タンパク質含有率を得るための穂揃期追肥量は、穂揃期の葉面積×SPAD値により決定できると報告されている¹⁰⁾。しかし、生産現場においては、さらに簡易な方法により子実タンパク質含有率を推定する技術が求められている。そこで、硬質小麦品種「ミナミノカオリ」について収量向上及び子実タンパク質含有率制御技術について検討したのでここに報告する。

2. 収量向上技術

1) 背景

「ミナミノカオリ」は、2004年に九州沖縄農業研究センターで育成された西南暖地で栽培可能な硬質小麦品種である。しかし、栽培面においては穂数が確保しにくく、「チクゴイズミ」に対する比率は、諫早市貝津町（農林技術開発センター）で91、雲仙市国見町では80である。その結果、収量比率も諫早市貝津町で79、雲仙市国見町では74と低い¹⁷⁾。そこで、穂数を増やすことに重点を置いて、硬質小麦「ミナミノカオリ」の収量向上技術について検討した。

2) 材料および方法

試験は2005~2008年（収穫年度、以下同じ）に諫

早市貝津町にある農林技術開発センター内水田において実施した。土壌条件は中粗粒灰色低地土、壤土で前作は水稻、稲わらは持ち出した。

2005年は播種期、播種量、分けつ肥量および穂肥量の4要因についてそれぞれ2水準を設定し、各要因が生育、収量に及ぼす影響を調査した（表1）。基肥は窒素成分で7.0kg/10a、播種前全面全層施肥とし、播種様式は条間30cmのドリル播とした。また、出穂後7~10日後に窒素成分で4kg/10a穂揃期追肥を施肥した。さらに、早播適応性を調査するために、2005年3月16日に早播区、標準播区ともに約180茎を分解し幼穂凍死発生の有無を調査した。

2006年は播種条間が生育、収量に及ぼす影響について調査した。条間を20cm、25cm、30cmと3水準設

定し、播種期は 2005 年 11 月 22 日、播種量は 7.5kg/10a、施肥量は基肥、分けつ肥、穂肥、穂揃期追肥をそれぞれ窒素成分で 7kg、2kg、2kg、4kg 施肥した。

2007 年は播種様式、播種量、分けつ肥量、穂肥量の 4 要因についてそれぞれ 2 水準を設定し、各要因が生育、収量に及ぼす影響を調査した (表 2)。播種期は 2006 年 12 月 1 日、基肥は窒素成分で 7kg/10a、播種前全面全層施肥とし、全区出穂後 7~10 日後に窒素成分で 4kg/10a 穂揃期追肥を施肥した。

2008 年は播種量及び穂肥量が生育、収量に及ぼす影響について調査した。標準区の施肥体系 (基肥-分けつ肥-穂肥-穂揃期追肥 : 7-2-2-4 (Nkg/10a)) に対し穂肥の量のみを増やし、窒素成分で 4kg、6kg/10a の 2 水準を設けた。なお、全施肥体系について播種量を 7.5kg/10a と 10.0kg/10a の 2 水準を設けた。播種期は 2007 年 11 月 22 日、播種様式は条間 30cm のドリル播とした。

4 ヶ年とも 1 区面積 12 m² で刈取面積は 2005~2007 年は 5.25 m²、2008 年は 6 m² とした。

調査項目は苗立数、最高分けつ期茎数、出穂・成熟期、稈長、穂長、穂数、倒伏程度、子実重、千粒重、容積重、検査等級とした。子実重、千粒重、容積重は子実粒厚 2.2mm 以上について調査し、水分 12.5%換算とした。検査等級は九州農政局長崎農政事務所 に依頼し、1 (1 等上) ~6 (2 等下) 及び 7 (規格外) の 7 段階で示した。

表 1 2005 年試験区の構成

水準 要因	第 1 水準 (1L)	第 2 水準 (2L)
播種期 (A)	11 月 10 日 (早播)	11 月 26 日 (標準播)
播種量 (B)	7.5kg/10a	10.0kg/10a
分けつ肥量 (C)	2.0kg/10a	4.0kg/10a
穂肥量 (D)	2.0kg/10a	4.0kg/10a

注 1) 分けつ肥量、穂肥量は窒素成分での値。

注 2) 分けつ肥施肥日 : 早播-2004 年 12 月 20 日
標準播-2005 年 1 月 18 日

注 3) 穂肥施肥日 : 早播-2005 年 2 月 3 日

標準播-2005 年 2 月 28 日

表 2 2007 年試験区の構成

水準 要因	第 1 水準 (1L)	第 2 水準 (2L)
播種様式 (A)	条間 20cm	条間 30cm
播種量 (B)	7.5kg/10a	10.0kg/10a
分けつ肥量 (C)	2.0kg/10a	4.0kg/10a
穂肥量 (D)	2.0kg/10a	4.0kg/10a

注 1) 分けつ肥量、穂肥量は窒素成分での値。

注 2) 分けつ肥施肥日 : 2007 年 1 月 15 日。

注 3) 穂肥施肥日 : 2007 年 2 月 28 日。

3) 結果および考察

(1) 播種期が生育・収量に及ぼす影響

2005 年試験において、早播と標準播の最高分けつ期茎数に有意な差はなかったが、穂数は標準播の方が有意に多く、その結果、子実重も標準播の方が有意に重かった (表 3)。これは、早播における幼穂凍死の発生が影響していると考えられた。幼穂凍死は茎立期以降の -3°C 以下の低温で発生することが報告されており⁴⁾、2005 年は早播の茎立期である 2 月 3 日以降に -3°C 以下となった日が 3 度あり、幼穂凍死発生率は 24.2% であった。一方、標準播の茎立期である 2 月 26 日以降に -3°C 以下の低温はなく、幼穂凍死の発生もなかった (表 4)。早播における茎立期は単年度の結果であるが、「ミナミノカオリ」(播性 : I) よりやや播性程度の高い「チクゴイズミ」(播性 : I~II) の 11 月 1, 2 半旬播種時の茎立期は 2 月 2 半旬との報告がある^{2), 11)} ことから、「ミナミノカオリ」早播時の茎立期は今回の調査結果のとおり 2 月 1 半旬頃になると考えられる。表 5 に 1999 年~2008 年の 2~3 月に -3°C 以下となった日の有無を半旬別に示した。10 ヶ年のうち 2 月 1 半旬以降に -3°C 以下となった日が存在する年は 9 ヶ年もあり、このことから、早播は幼穂凍死の発生する危険性が非常に高いと考えられた。

また、「ミナミノカオリ」は早播するとグルテニン含量および酢酸不溶性グルテニン含量が低くなり、グルテンの質が低くなることが報告されており⁶⁾、このことから早播は生育だけでなく、品質にも悪影響があると考えられた。

表3 播種期が生育、収量に及ぼす影響 (2005年)

播種期	苗立数 (本/m ²)	最高分げつ期 茎数 (本/m ²)	稈長 (cm)	穂長 (cm)	穂数 (本/m ²)	有効茎歩合 (%)	子実重 (kg/a)	容積重 (g)	千粒重 (g)	検査等級
早播 (11/9)	170	1067	85	8.1	587	55.5	48.8	842	38.8	5.4
標準播 (11/24)	190	1068	90	8.2	632	59.3	58.5	839	40.8	5.3
有意差	ns	ns	**	ns	*	ns	**	ns	**	ns

注1) **: 1%水準, *: 5%水準で有意差あり. ns: 有意差なし. (表6, 7, 8, 9も同じ)

表4 播種期別幼穂凍死発生率 (2005年)

播種期 (月/日)	茎立期 (月/日)	幼穂凍死発生率 (%)		
		主茎	分げつ	全体
早播 (11/9)	2/3	18.2	27.5	24.2
標準播 (11/24)	2/26	0.0	0.0	0.0

注1) 茎立期は稈長が20mmに達した日とした.

表5 最低気温-3°C以下となった日の有無
(1999~2008)

月 半旬	2月						3月					
	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
1999	-	-	●	-	●	-	-	-	-	-	-	-
2000	●	●	-	●	-	-	●	-	-	-	-	-
2001	-	-	●	●	-	-	-	-	-	-	-	-
2002	●	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2003	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2004	-	●	-	-	-	-	●	●	-	-	-	-
2005	-	-	●	-	●	●	-	-	-	-	-	-
2006	●	-	●	-	-	-	●	-	-	-	-	-
2007	●	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2008	-	-	●	●	-	-	-	-	-	-	-	-

注1) ●: -3°C以下になった日あり

-: -3°C以下になった日なし

(2) 播種量が生育・収量に及ぼす影響

苗立数は播種量7.5kg/10a区に対し10kg/10a区の方が当然多かったが、2005、2007年の2カ年は最高分げつ期には有意な差はなくなり、穂数にも有意差はなかった。一方、2008年は最高分げつ期には1%水準で有意差があり、穂数も5%水準で有意差が認められた。しかし、播種量間の穂数に有意差がなかった2005年は、播種量10kg区の方が低収となり、播種量10kg区の方が有意に穂数の多かった2008年については、子実重に有意差はなかった(表6)。これは、2005、2008年は2007年に比較して穂数が多く確保されており、播種量10kg区の方が、穂長が短く、千粒重が軽くなる傾向にあるためと考えられた。福島の報告³⁾でも、小麦品種「チクゴイズミ」について、播種量を増やすと穂数は増加するが、1穂小穂数、1穂粒数、千粒重が減少し、子実重に有意な

差はないとされており、今回の「ミナミノカオリ」についても同様の結果となった。以上のことから、播種量を増やしても子実重は明確に増加しておらず、播種量を増やすことによる増収効果は期待できないと考えられた。

表6 播種量が生育、収量に及ぼす影響

年度	播種量 (kg/10a)	苗立数 (本/m ²)	最高分げつ期 茎数 (本/m ²)	稈長 (cm)	穂長 (cm)	穂数 (本/m ²)	有効茎歩合 (%)	子実重 (kg/a)	容積重 (g)	千粒重 (g)	検査等級
2005	7.5	158	1048	87	8.3	614	58.7	55.9	839	40.0	5.3
	10.0	202	1082	88	8.0	605	56.2	51.4	842	39.5	5.4
	有意差	**	ns	ns	*	ns	ns	**	ns	ns	ns
2007	7.5	154	1071	91	8.9	431	40.5	53.6	803	38.7	2.9
	10.0	202	1187	91	8.8	478	40.3	54.1	806	38.7	3.1
	有意差	**	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
2008	7.5	171	784	86	7.8	561	71.5	67.9	786	41.8	5.6
	10.0	228	933	86	7.6	619	66.3	67.4	778	41.2	5.6
	有意差	**	**	ns	ns	*	ns	ns	ns	ns	ns

(3) 播種条間が生育・収量に及ぼす影響

「ミナミノカオリ」は品種の特性として株が閉じている¹⁾。そこで、播種条間を狭くするほど占有空間が有効に活用され、単位面積あたりの穂数増加を目的として試験を実施した。m²当たり苗立数は条間を狭くするほど多く、その後の茎数も条間が狭いほど多く推移した。最高分げつ期茎数は条間30cmと比較して、条間20cmの方が2006年は約250本、2007年は約150本多かった。しかし、条間を狭くすると有効茎歩合が低くなり、2ヵ年ともに最終的な穂数に有意な差は認められず、条間を狭くしても穂数は増加しない結果となった。その結果、子実重をはじめ容積重、千粒重についても条間の違いによる有意な差はなかった(図1、表7)。このことから、播種

条間を狭くしても穂数増加にはつながらず増収しないと考えられた。

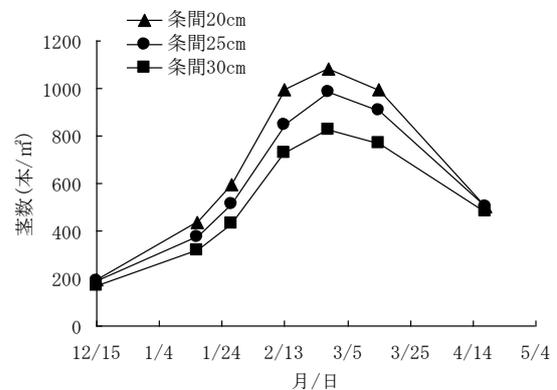


図1 播種条間の違いによる茎数の推移(2006年)

表7 播種条間が生育、収量に及ぼす影響

年度	条間 (cm)	苗立数 (本/m ²)	最高分げつ期 茎数 (本/m ²)	稈長 (cm)	穂長 (cm)	穂数 (本/m ²)	有効茎歩合 (%)	子実重 (kg/a)	容積重 (g)	千粒重 (g)	検査等級
2006	20	195 ^a	1081 ^a	84 ^a	8.2 ^a	485 ^a	44.9 ^a	47.6 ^a	805 ^a	37.6 ^a	4.0 ^a
	25	188 ^a	982 ^{ab}	86 ^a	8.3 ^a	493 ^a	50.2 ^{ab}	50.4 ^a	806 ^a	39.1 ^a	4.0 ^a
	30	168 ^a	825 ^b	86 ^a	8.2 ^a	452 ^a	54.8 ^b	49.0 ^a	807 ^a	37.9 ^a	4.0 ^a
2007	20	176	1205	90	8.8	452	37.4	54.8	801	38.8	3.3
	30	181	1053	91	8.9	456	43.4	53.0	807	38.5	2.8
	有意差	ns	*	ns	ns	ns	**	ns	ns	ns	ns

注1) 表中の英異文字間には5%水準で有意差あり (Tukey 多重検定, 表9も同じ)。

(4) 追肥が生育・収量に及ぼす影響

竹内らの報告¹⁵⁾では、「ミナミノカオリ」について、分けつ肥無施肥に対し窒素成分で 2kg/10a 施肥することで穂数が増加し増収するとされている。そこで、さらに分けつ肥の増施による収量向上を目的とし、窒素成分で 4kg/10a 施肥したが、2kg/10a 施肥区と比較して、穂数および子実重は有意に増加しなかった(表 8)。つまり、「ミナミノカオリ」は分けつ肥の施肥量を増やしても穂数増加及び増収にはつながらないと考えられた。

一方、穂肥施肥量が生育、収量に及ぼす影響(表 9)を見てみると、いずれの年も最高分けつ期茎数に有意差はないものの、穂肥施肥量を増やすほど有効茎歩合が高まり穂数は増加した。さらに、穂長も長くなる傾向があり、穂肥施肥量の増加は増収効果が

高いと考えられた。これは、竹内らの報告¹⁵⁾と同様の傾向であった。

以上のことから、「ミナミノカオリ」の分けつ肥の増施による穂数の増加効果は期待できず、穂肥増施により有効茎歩合を向上させることが穂数の確保につながり、増収効果も大きいと考えられた。

ただし、2008 年単年度の結果ではあるが、穂肥を窒素成分で 6kg/10a 施肥した場合、倒伏程度が 2.0 と有意に高くなった。「ミナミノカオリ」は耐倒伏性が強い品種であるが穂発芽性がやや易である¹⁾ため、過剰な施肥は倒伏およびそれに伴う外観品質低下や穂発芽を招く危険性が高い。そのため、さらに穂肥施肥量を増やした場合の生育、収量、品質についてさらに検討する必要がある。

表 8 分けつ肥施肥量が生育、収量に及ぼす影響

年度	分けつ肥 施肥量 (Nkg/10a)	苗 立 数 (本/m ²)	最高分 げつ期 茎数 (本/m ²)	稈 長 (cm)	穂 長 (cm)	穂 数 (本/m ²)	有効 茎 歩合 (%)	子 実 重 (kg/a)	容 積 重 (g)	千 粒 重 (g)	検 査 等 級
2005	2	180	1025	88	8.0	604	59.1	55.0	840	40.7	5.1
	4	180	1104	88	8.3	615	55.9	52.4	842	38.9	5.5
	有意差	ns	ns	ns	*	ns	ns	*	ns	**	ns
2007	2	183	1137	90	8.7	453	40.1	53.0	805	39.0	2.8
	4	174	1121	92	8.9	456	40.8	54.7	803	38.4	3.3
	有意差	ns	ns	*	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns

表 9 穂肥施肥量が生育、収量に及ぼす影響

年度	穂肥 施肥量 (Nkg/10a)	苗 立 数 (本/m ²)	最高分 げつ期 茎数 (本/m ²)	稈 長 (cm)	穂 長 (cm)	穂 数 (本/m ²)	有効 茎 歩合 (%)	子 実 重 (kg/a)	容 積 重 (g)	千 粒 重 (g)	検 査 等 級	倒 伏 程 度
2005	2	182	1054	88	7.9	598	57.1	52.9	842	39.9	5.4	—
	4	178	1075	88	8.3	621	57.8	54.4	839	39.6	5.3	—
	有意差	ns	ns	ns	*	*	ns	ns	ns	ns	ns	—
2007	2	173	1119	91	8.7	421	37.8	51.3	805	38.6	2.8	—
	4	183	1139	91	9.0	487	43.0	56.4	804	38.8	3.3	—
	有意差	ns	ns	ns	ns	*	**	*	ns	ns	ns	—
2008	2	170 ^a	821 ^a	85 ^a	7.5 ^a	567 ^a	69.0 ^a	63.9 ^a	801 ^a	42.9 ^a	6.0 ^a	0.0 ^a
	4	169 ^a	726 ^a	87 ^a	7.8 ^{ab}	515 ^a	70.9 ^a	66.0 ^a	771 ^b	41.9 ^a	5.3 ^a	0.7 ^a
	6	173 ^a	805 ^a	87 ^a	8.1 ^b	600 ^a	74.6 ^a	73.8 ^b	786 ^{ab}	40.6 ^b	5.3 ^a	2.0 ^b

注 1) 倒伏程度：0 (無) ～5 (甚) の 6 段階評価。

3. 子実タンパク質含有率制御技術

1) 背景

「ミナミノカオリ」の栽培において、子実タンパク質含有率の向上のため、穂揃期追肥が必要である。目標とする子実タンパク質含有率に制御するための穂揃期追肥施肥量を決定するためには、穂揃期追肥施肥前に子実タンパク質含有率を予測する必要がある。これまで、様々な品種について穂揃期の SPAD 値と子実タンパク質含有率の関係に相関があること^{8), 12), 16), 18), 19)}が報告されている。さらに、Nakano らの報告¹⁰⁾によれば、「ミナミノカオリ」の子実タンパク質含有率は、穂揃期の SPAD 値のみで予測するより、葉面積×SPAD 値を用いることで、高い精度で予測できるとされている。この技術を小麦生産現場において活用しやすくするため、測定が困難な葉面積ではなく、簡易に測定可能な葉身長を用いた子実タンパク質含有率の予測の有効性について検討した。

また、Nakano ら¹⁰⁾は止葉の葉面積および SPAD 値を予測に用いているが、上位第 2 葉での検討はなされていない。松中らの報告⁸⁾によれば、「チホクコムギ」において、止葉よりも上位第 2 葉の SPAD 値と子実タンパク質含有率の方が極めて有意な相関があるとされている。他の報告についても止葉を測定しているもの、上位第 2 葉を測定しているものと様々である。そこで、「ミナミノカオリ」について、止葉と上位第 2 葉のどちらが植物体の生育状況を適切に反映できるかについて検討した。

2) 材料および方法

試験は 2005～2008 年に諫早市貝津町にある農林技術開発センター内水田において実施した。土壌条件は中粗粒灰色低地土、壤土で前作は水稲、稲わらは持ち出した。

各年次の耕種概要を表 10 に示した。それぞれの年次において、播種量、播種条間、施肥体系について複数水準を設定し、その組み合わせにより生育が異なる区を設けた。それぞれの区において穂揃期に止葉および上位第 2 葉の SPAD 値及び葉身長を 1 区あたり 20 個体測定した。SPAD 値は SPAD502(MinoIta)を用い、葉身中央部を中肋を避けて 3 ヶ所測定し、その平均値を測定値とした。ここで、植物体の生育状況を適切に反映するためには、同一処理区内の個体間のばらつきが小さいことが重要と考え、同一処理区内における SPAD 値及び葉身長の個体間のばらつきを調査した。SPAD 値と葉身長のばらつき程度を比較するために各区 20 個体調査時の標準偏差を平均値で除した値に 100 を乗じて変動係数を算出した。

各区収穫後、粒厚 2.2mm 以上の子実について、子実タンパク質含有率を測定した。測定は九州沖縄農業研究センター所有の Foss Infratec 1241 を使用し、水分 13.5%換算とした。

基肥は播種前全面全層施肥、分けつ肥、穂肥、穂揃期追肥は条間施肥とした。4 ヶ年とも 1 区面積は 12 m²とした。

表 10 子実タンパク質含有率制御試験の構成

年次	播種量 (kg/10a)	播種条間	施肥体系(Nkg/10a)			
			基肥	分けつ肥	穂肥	穂揃期追肥
2005	7.5, 10.0	30	7.0	2.0, 4.0	2.0, 4.0	0.0, 4.0
2006	7.5	20, 25, 30	7.0	2.0	2.0	4.0
2007	7.5	30	5.0, 7.5	2.0, 3.0	3.0, 4.5	0.0
2008	7.5	30	5.0, 7.5	2.0, 3.0	3.0, 4.5	0.0

3) 結果および考察

(1) 子実タンパク質含有率予測に用いる葉位の検討

SPAD 値の変動係数の分布を図 2、葉身長の変動係数の分布を図 3 に示した。

同一処理区内の SPAD 値の変動係数は止葉に比較して上位第 2 葉が若干大きく、個体間のばらつきが

やや大きい(図 2)が、変動係数自体小さく、予測に用いる場合には大きな差はないと考えられた。一方、葉身長の変動係数は止葉に比較して上位第 2 葉が明らかに小さく、同一処理区内の個体間ばらつきが小さかった(図 3)。このことから、穂揃期の植物体の生育状況を示す指標としては、上位第 2 葉の

SPAD 値及び葉身長を測定するのが適当であると考えられた。

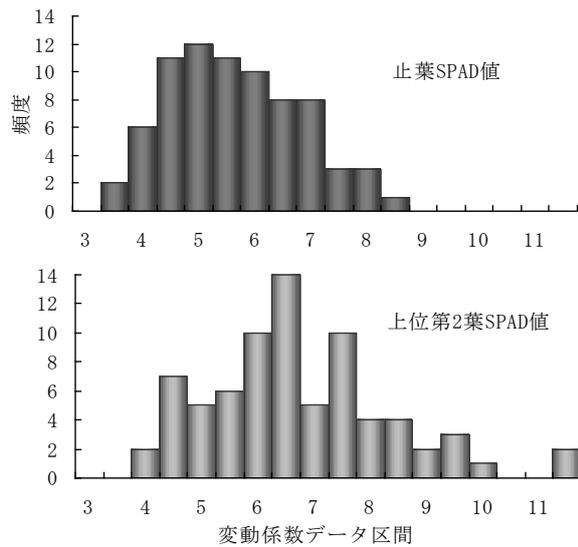


図2 止葉及び上位第2葉 SPAD 値調査における
変動係数のヒストグラム

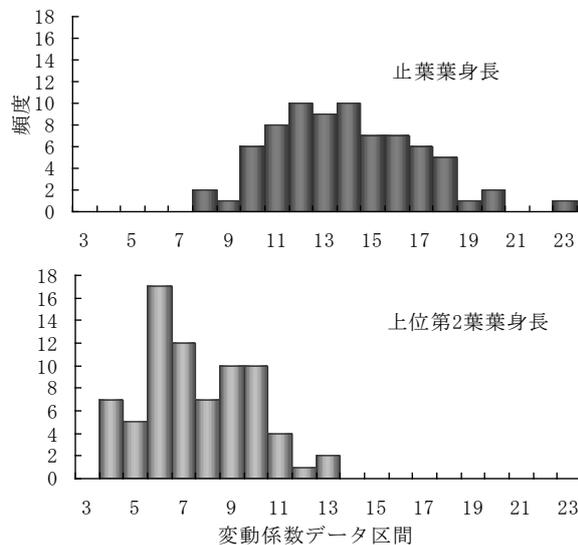


図3 止葉及び上位第2葉葉身長調査における
変動係数のヒストグラム

(2) 穂揃期の SPAD 値及び葉身長と子実タンパク含有率の関係

穂揃期追肥を施肥しなかった区について、穂揃期の SPAD 値、葉身長及び SPAD 値×葉身長と子実タンパク含有率の関係を図4、図5、図6、図7、図8、図9に示した。穂揃期の SPAD 値と子実タンパク含有率の間には、止葉及び上位第2葉ともに正の有意

な相関が認められ、SPAD 値が高いほど子実タンパク含有率は高くなった。この傾向は佐藤¹²⁾、山下ら¹⁹⁾、牧山ら⁷⁾の報告と同様の傾向であった。それぞれの決定係数を見てみると、止葉の場合が $R^2=0.6051$ 、上位第2葉の場合が $R^2=0.5766$ と止葉の SPAD 値の方が子実タンパク含有率との相関が高かった。

次に葉身長と子実タンパク含有率の関係をみると、止葉、上位第2葉ともに正の有意な相関が認められ、葉身長が長いほど子実タンパク質は高くなった。SPAD 値と子実タンパク含有率については止葉の方が決定係数が高かったのに対し、葉身長と子実タンパク含有率については止葉の場合が $R^2=0.6039$ 、上位第2葉の場合が $R^2=0.6422$ と、上位第2葉の方がより強い相関が認められた。つまり、子実タンパク含有率と最も相関が高かったのは上位第2葉の葉身長であり、葉緑素計がなくても子実タンパク含有率の推定が可能であることが明らかとなった。

さらに、SPAD 値と葉身長を乗じた値と子実タンパク含有率の関係を見ると、当然、有意な相関が認められ、その決定係数は止葉の場合が $R^2=0.6787$ 、上位第2葉の場合が $R^2=0.7440$ と SPAD 値のみ及び葉身長のみの場合より高くなった。

以上のことから、子実タンパク含有率をもっとも高精度で予測するには上位第2葉の SPAD 値×葉身長が有効であると考えられた。

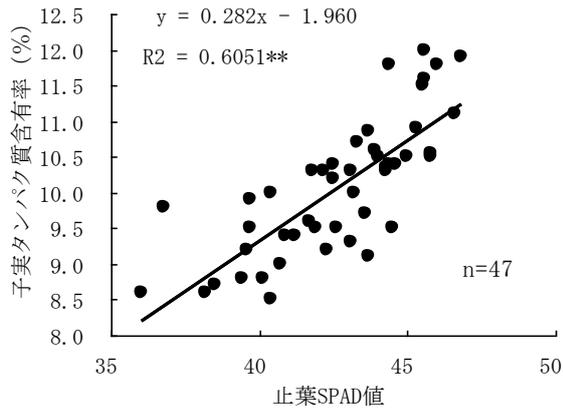


図4 止葉 SPAD 値と子実タンパク質含有率

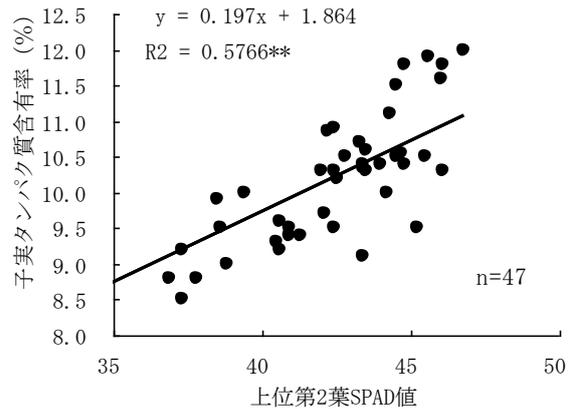


図5 上位第2葉 SPAD 値と子実タンパク質含有率

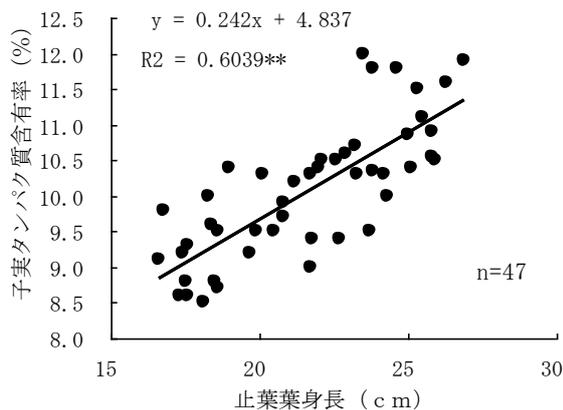


図6 止葉葉身長と子実タンパク質含有率

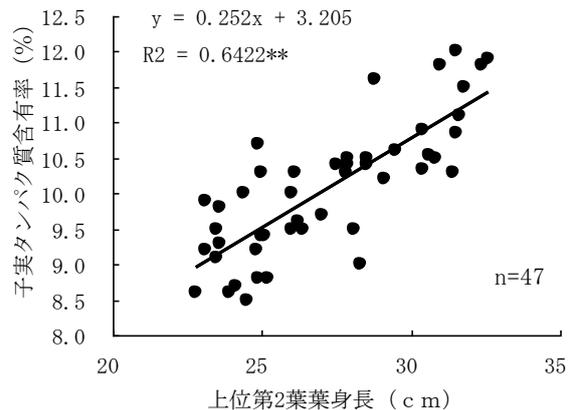


図7 上位第2葉葉身長と子実タンパク質含有率

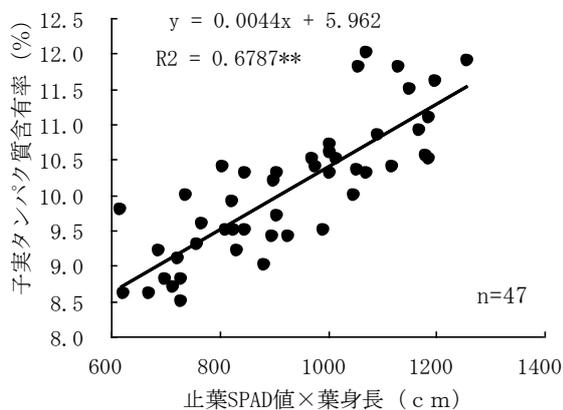


図8 止葉 SPAD 値×葉身長と子実タンパク質含有率

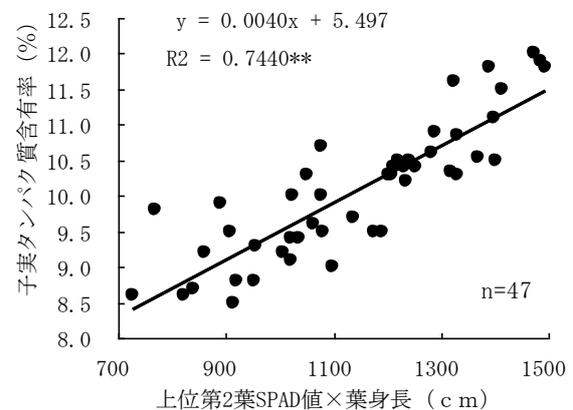


図9 上位第2葉 SPAD 値×葉身長と子実タンパク質含有率

(3) 穂揃期追肥施肥量と子実タンパク質含有率の関係

穂揃期追肥を施肥しなかった区と窒素成分で4kg/10a 施肥した区について、上位第2葉 SPAD 値×

葉身長と子実タンパク質含有率の関係を図 10 に示した。穂揃期追肥を施肥しなかった場合の回帰式が $y=0.0040x+5.4968$ で表されるのに対し、穂揃期追肥を施肥した場合の回帰式は $y=0.0040x+7.4052$ で表

される。回帰式の傾きが同じであることから、穂揃期の上位第2葉 SPAD 値×葉身長の値に関わらず、穂揃期追肥の施肥による子実タンパク質含有率の向上率はほぼ一定であると考えられた。さらに、回帰式の切片は穂揃期追肥を窒素成分で 10a あたり 4kg 施肥した場合が 7.4052 で、穂揃期追肥を施肥しなかった場合の切片 5.4968 より 1.9084 高くなっており、10a あたり窒素成分 4kg の施肥により、子実タンパク質含有率は約 2%向上する結果となった。このことは、穂揃期追肥と子実タンパク質含有率期の間には有意な正の一次相関があり、窒素施肥量 1kg/10a あたり子実タンパク質含有率は約 0.5%向上するとした高山ら¹⁴⁾、岩渕ら⁵⁾、山下ら²⁰⁾、Nakano ら¹⁰⁾の報告を支持する結果であった。

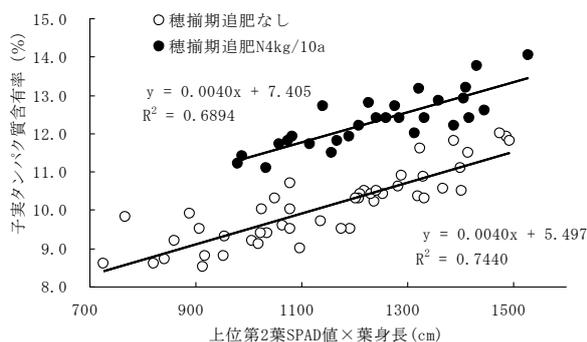


図 10 上位第2葉 SPAD 値×葉身長と子実タンパク質含有率

(4) 子実タンパク質含有率制御技術の現地実証

前述のとおり穂揃期の SPAD 値と葉身長により、子実タンパク質含有率を予測し、目標値との差を推定することができる。さらに、穂揃期追肥により窒素施肥量 1kg/10a あたり子実タンパク質含有率は約 0.5%向上することから、目標値に制御するための窒素施肥量が算出できる。そこで、手延べ素麺原料用として「ミナミノカオリ」の主産地である国見町神代の現地圃場において、本技術の適用性を検証した。

現地圃場 2 ヲ所の穂揃期における上位第 2 葉の SPAD 値、葉身長を 1 圃場につき 1 ヲ所当たり 20 個体を 10 ヲ所測定し、回帰式 $y=0.004x+5.4968$ により子実タンパク質含有率の推定値を算出した(表 11)。A 圃場では穂揃期追肥として硫安 17kg/10a (窒素成分で 3.6kg/10a)、B 圃場では硫安 20kg/10a (窒素成分で 4.2kg/10a) が生産者により散布された。それぞれの子実タンパク質含有率推定値と穂揃期追肥施肥量から算出した生産物の子実タンパク質含有率は、A 圃場が 12.1%、B 圃場が 12.4%となる。子実タンパク質含有率の実測値は A 圃場が 12.2%、B 圃場が 12.6%であり、それぞれ推定値との誤差は 0.1%、0.2%であった(表 11)。以上のように、今回の試験ではかなり高い精度で予測できたが、試験を実施した 2 圃場の植物体の生育がほぼ同一の状況であったため、本技術の有効性を明らかにするためには、更なる検証が必要であると考えられた。

表 11 現地圃場における実証結果

圃場	SPAD 値	葉身長 (cm)	子実タンパク質 含有率推定値 (%)	穂揃期 追肥量 (Nkg/10a)	穂揃期追肥 後推定値 (%)	子実タンパク質 含有率実測値 (%)
A	42.4	28.5	10.3	3.6	12.1	12.2
B	42.3	28.4	10.3	4.2	12.4	12.6

4. 総合考察

「ミナミノカオリ」は、西南暖地で栽培可能な硬質小麦として大きな需要が期待されるが、奨励品種決定調査において、「チクゴイズミ」、「シロガネコムギ」に比較して穂数が確保しにくく、収量が低いため、栽培面での課題が残されている。さらに、「ミナミノカオリ」の栽培において、収量向上だけでなく、その用途に適した加工適性を確保するために、

適正な子実タンパク質含有率に制御する技術が求められる。そこで、本研究では以上の 2 つの課題を解決するために試験を実施した。

まず、収量に影響を及ぼすと考えられる播種期、播種量、播種様式、施肥の 4 つの要因について、それぞれ収量に及ぼす影響を調査した。

播種期については、小麦の標準的な播種期である

11月5半旬播種とそれよりも早い11月2半旬に播種した場合の生育、収量について比較検討した。その結果、11月2半旬に播種した場合、穂数が有意に少なくなり、子実重も有意に少なくなった。これは、幼穂凍死の発生が影響していると考えられる。「ミナミノカオリ」は播性がIであり、花芽分化のための低温要求度が低いため、播種期を早くするほど節間伸長開始時期が早くなる。今回の結果では、従来の播種時期である11月5半旬に播種した場合の茎立期が2月26日であったのに対し、11月2半旬播種では2月3日であった。幼穂は節間伸長開始前は地中にあるが、節間伸長により地上に押し上げられる。この時期に低温に遭遇することにより凍死するため、節間伸長の開始が早いと幼穂凍死の危険性は高くなる¹³⁾。その結果、11月5半旬播種では、幼穂凍死の発生は認められなかったのに対し、11月2半旬播種では幼穂凍死率は24.2%と高くなった。このことから、早播は収量向上に対しては適さないと考えられる。併せて、岩渕らの報告⁶⁾では、早播によりグルテンの質が低くなるとされており、このことから早播は生育、収量だけでなく、品質にも悪影響があるため、「ミナミノカオリ」について早播は不適であり、適切な播種期は従来どおりの11月5~6半旬と考えられる。

播種量は7.5kg/10aと10.0kg/10aの2水準を設定し、播種量を増やすことにより穂数が増加することを期待した。出芽数は当然播種量が多い方が有意に多かったが、試験を実施した2005、2007、2008年のうち2005、2007年は、最高分げつ期には茎数に差はなくなり、穂数にも有意差はなかった。一方、2008年は最高分げつ期の茎数は播種量が多い方が有意に多く、穂数についても5%水準で有意差が認められた。しかし、子実重については2007、2008年の2カ年は播種量間で有意差はなく、2005年については、播種量を増やした方が低収となった。以上のような結果になったのは、播種量を増やすことによる1穂あたりの粒数、粒重が関係していると考えられる。今回の結果を見ると年次により差はあるものの、播種量を増やすことにより、穂長は短く、千粒重は軽くなる傾向が認められる。また、福罵ら³⁾の報告では、「チクゴイズミ」について播種量を増やすことにより、穂数は増加するが、1穂小穂数、1穂粒数、千粒重が減少し、子実重に有意な差はなくなるとされている。以上のことから、播種量を増やすことに

より穂数が増加する場合もあるが、1穂あたりの粒数、粒重の減少により、子実重の有意な増加は期待できないと考えられる。

播種様式について検討したのは、「ミナミノカオリ」は品種の特性として株が閉じており、占有空間が有効に活用されていないと考えたためである。つまり、条播における播種条間を狭くすることで、占有空間が有効に活用され、単位面積あたりの穂数増加につながるのではないかと考えた。播種条間を狭くするほど、単位面積あたりの出芽数は多くなり、その後の茎数も多く推移し、最高分げつ期ではm²あたり茎数は150~250本多くなった。ここまでは想定したとおりの結果であったが、試験を実施した2カ年ともに、条間を狭くすることで明らかに有効茎歩合が低下し、穂数増加に有意な効果は認められなかった。穂長や千粒重にも有意差はなく、収量向上にはつながらなかった。つまり、播種条間を狭くしても穂数増加にはつながらず、増収効果は期待できないと考えられる。

麦作において、施肥は最も重要な要因の一つである。「ミナミノカオリ」の収量向上に対する分げつ肥の必要性は竹内ら¹⁰⁾が報告している。分げつ肥無施肥に対し、窒素成分で2kg/10a施肥することで穂数が増加し、収量向上につながるとされている。そこで、本研究では、分げつ肥を窒素成分で2kg/10aから4kg/10aに増施することで更なる穂数増加が得られないか検討した。試験を実施した2005、2007年ともに分げつ肥を増施しても茎数の増加は認められず、最高分げつ期の茎数に有意な差はなかった。当然、穂数にも有意な差はなく子実重も増加しなかった。このことから、分げつ肥の施肥は必要であるが、施肥量は窒素成分で2kg/10a以上施肥しても、収量向上に対する明確な効果はないと考えられる。

一方、穂肥については、施肥量を増やすほど穂数が増加した。試験を実施した2005、2007、2008年の3カ年ともに最高分げつ期の茎数には有意差はないものの、穂肥の増施により有効茎歩合が高くなり、このことにより穂数が増加した。さらに、穂長についても、穂肥の増施にともない長くなる傾向にあり、以上2つの要因から、増収効果が認められた。ただし、穂肥を窒素成分で6kg/10a施肥した場合には倒伏程度が有意に高くなっている。「ミナミノカオリ」は耐倒伏性が高い品種ではあるが、今回の結果から、穂肥の過剰な増施は倒伏を招く危険性が示唆され

る。「ミナミノカオリ」は穂発芽性がやや易であることから、倒伏した場合、穂発芽及び低アミロ化が懸念される。よって、本研究で実施した穂肥量よりさらに増施した場合の生育、収量、品質については更なる検討が必要と考える。

以上より、「ミナミノカオリ」の収量向上のための適正播種期は11月下旬、播種量は7.5kg/10a程度で十分であり、播種条間は20~30cmの間でよいと考えられる。施肥については10aあたり窒素成分で分けつ肥を2kg、穂肥を4kg施肥することにより、倒伏を招くことなく安定した収量が得られると考えられる。

次に、二つ目の課題である子実タンパク質含有率制御技術に関して述べる。「ミナミノカオリ」を栽培する上で、収量を確保するだけでなく、その用途に適した子実タンパク質含有率に制御する技術が必要である。子実タンパク質含有率を向上させるためには、従来の小麦では必要のなかった穂揃期追肥が必要となる。これまで、穂揃期追肥が子実タンパク質含有率の向上に及ぼす効果については数多くの報告がある。さらに、単位窒素量あたりの子実タンパク質含有率向上率についても、本研究の結果も含め、窒素成分で1kg/10a施肥することにより子実タンパク質含有率が約0.5%向上することが明らかである。

よって、穂揃期追肥前に子実タンパク質含有率を推定する技術が確立できれば、目標とする子実タンパク質含有率に制御することが可能となる。例えば、目標値が12%、推定値が10%であった場合は、穂揃期追肥として窒素成分で4kg/10a施肥すればよいということになる。この子実タンパク質含有率を推定する技術については、数多くの報告がありその多くがSPAD値を用いている。さらに、Nakanoら¹⁰⁾の報告ではSPAD値のみで子実タンパク質含有率を推定するよりもSPAD値×葉面積を用いることにより、さらに高い精度で子実タンパク質含有率を推定できるとされている。この技術を活用すれば、かなり高い精度で子実タンパク質含有率を制御することが可能と考えられるが、栽培現場において葉面積を測定することは困難であり、もっと簡易な技術が必要と考えられる。そこで、本研究では、葉面積の代わりに葉身長を利用することの有効性について検討した。

これまでのSPAD値と子実タンパク質含有率の関係について述べた報告では、SPAD値の測定葉位は止葉もしくは上位第2葉の2種に区分される。しかし、

測定葉位と子実タンパク質含有率の関係についての報告は少ない。松中ら⁸⁾は「チホクコムギ」について上位第2葉のSPAD値の方が、止葉のSPAD値よりも子実タンパク質含有率と極めて強い相関があることを報告しているが、「ミナミノカオリ」について測定葉位と子実タンパク質含有率の関係について述べた報告は見当たらない。

さらに、子実タンパク質含有率の推定に葉身長を用いている報告もないことから、まずは、止葉と上位第2葉のどちらを子実タンパク質含有率の推定に用いるのが適当かを明らかにする必要がある。そこで、個体間のばらつきを調査した結果、SPAD値については、止葉と上位第2葉ともに個体間のばらつきはそれほど大きくなかったが、葉身長については、止葉は個体間のばらつきが大きいのに対し、上位第2葉はばらつきが小さいことが明らかとなった。このことから、子実タンパク質含有率の推定には上位第2葉を用いるのが適当であると判断した。

そこで、上位第2葉のSPAD値、葉身長と子実タンパク質含有率の関係を見てみると、どちらにも有意な相関があるもののその決定係数はSPAD値の場合が0.5766、葉身長の場合が0.6422と葉身長の方が子実タンパク質含有率と強い相関があり、葉緑素計がなくても子実タンパク質含有率の推定が可能であることが明らかとなった。さらに、SPAD値×葉身長と子実タンパク質含有率の相関をみると、決定係数が0.744であり、葉身長のみで推定するよりも高い精度で推定できると考えられる。

以上の技術の現地における適用性を明らかにするため、雲仙市国見町の2ヵ所の圃場で検証した結果、本技術を用いた推定値と実測値の誤差はそれぞれ0.1%、0.2%であり、非常に高い精度で子実タンパク質含有率を予測することが可能であった。ただし、試験を実施した2圃場における生育様相がほぼ同じであり推定値も近かったことから、本技術の有効性をさらに確かなものとするためには更なる検証が必要であると考えられる。

本研究の結果から得られた適正播種期、播種量、播種様式、施肥量により「ミナミノカオリ」を栽培することで、安定した収量が得られると考えられる。しかし、生育は栽培地域や年次により異なるため、得られる子実のタンパク質含有率も当然異なる。このばらつきを小さくするために、上位第2葉の葉身長とSPAD値により子実タンパク質含有率を予測し、

予測値をもとに穂揃期追肥量を決定することで、地域、年次に関わらず安定した品質の小麦の生産が可

能となり、生産者および実需者のニーズに即した「ミナミノカオリ」の生産が可能になると考える。

5. 摘 要

「ミナミノカオリ」の栽培法が収量に及ぼす影響および子実タンパク質含有率制御技術について検討した。

- 1) 播種期について、早播すると幼穂凍死発生率が高く、収量も低かったことから、早播は適さないと考えられた。
- 2) 播種量を増やすことによる増収効果はないと考えられた。

3) 播種条間を狭くすることによる増収効果はないと考えられた。

4) 追肥が収量に及ぼす影響について、分けつ肥の増施による増収効果はないが、穂肥の増施により明確な増収効果が認められた。

5) 穂揃期の上位第2葉のSPAD×葉身長により高い精度で子実タンパク質含有率を推定することが可能であった。

6. 引用文献

1) 藤田雅也・河田尚之・関昌子・八田浩一・波多野哲也・田谷省三・佐々木昭博・氏原和人・谷口義則・平将人・塔野岡卓司・堤忠宏・坂智弘：製パン製の良い硬質小麦新品種「ミナミノカオリ」の育成，九農研報告，51，41-64(2009)

2) 福嶋陽・楠田幸・古畑昌巳：1999年に早播きしたコムギにおける凍霜害の様相，日作九支報，67，32-34(2001)

3) 福嶋陽・楠田幸・古畑昌巳：播種量および施肥法がコムギ品種「チクゴイズミ」の稈長・収量・原麦の蛋白質含量に及ぼす影響，日作九支報，70，23-25(2004)

4) 岩渕哲也・浜地勇次・尾形武文：秋播性程度が異なる小麦の幼穂凍死の実態，日作九支報，65，4-5(1999)

5) 岩渕哲也・田中浩平・松江勇次・松中仁・山口末次：開花期の窒素追肥がパン用小麦品種「ミナミノカオリ」と「ニシノカオリ」の製粉性、生地の物性および製パン適性に及ぼす影響，日作紀，76(1)，37-44(2007)

6) 岩渕哲也・田中浩平・松江勇次・松中仁・山口末次：早播がパン用小麦品種「ミナミノカオリ」の生地物性および製パン適性に及ぼす影響，日作紀77(4)，403-408(2008)

7) 牧山繁生・市丸喜久・横尾浩明・三原実・浅川将暁：コムギ品種「チクゴイズミ」のタンパク質含有率適正化のための穂揃期追肥診断技術，日作九支報，76，18-21(2010)

8) 松中照夫・渡辺祐志・宮脇忠・市川信雄：葉色診断によるコムギ子実タンパク質含有率の予測，土肥要旨集，40，260(1994)

9) Nakano, H., Morita, S. and Kusuda, O. : Effect of Nitrogen Application Rate and Timing on Grain Yield and Protein Content of the Bread Wheat Cultivar 'Minaminokaori' in Southwestern Japan, Plant prod. Sci, 11(1), 151-157(2008)

10) Nakano, H., Morita, S., Kusuda, O. and Sasaki, Y. : Leaf Blade Dry Weight and Leaf Area Index × SPAD Value at Anthesis Can Be Used to Estimate Nitrogen Application Rate at Anthesis Required to Obtain Target Protein Content of Grain in Bread Wheat, Plant prod. Sci, 13(3), 297-306(2010)

11) 小野和也・河津浩二・宇都宮隆一：大分県平坦部における秋播性小麦品種「イワイノダイチ」の播種早限，日作九支報，69，25-27(2003)

12) 佐藤一弘：土壌診断・栄養診断に基づく小麦の高品質・安定栽培技術，土肥誌，71(2)，254-258(2000)

13) 社団法人農産漁村文化協会：畑作全書ムギ類編，399(1981)

14) 高山敏之・長嶺敬・石川直幸・田谷省三：コムギにおける出穂10日後追肥の効果，日作紀，73(2)，157-162(2004)

15) 竹内実・近乗偉夫・吉良知彦：醤油醸造用硬質小麦の高タンパク質化へ向けた施肥法について，日作九支報，72，25-28(2006)

16) 建部雅子・岡崎圭毅・唐澤敏彦・渡辺治郎・大下

- 泰生・辻博之：パン用秋まきコムギ「キタノカオリ」に対する葉色診断と施肥対応，土肥誌，77(3)，293-298(2006)
- 17) 土谷大輔・佐田利行・岳田司：長崎県における硬質小麦品種「ミナミノカオリ」の栽培特性，長崎総農林試験報，33，19-25(2007)
- 18) 上野敏昭・武井由美子・石井博和・相崎万裕美：土壤硝酸態窒素含有量と葉色値による小麦「農林61号」の子実粗蛋白質含有量の予測法，日作関支報，20，18-19(2005)
- 19) 渡辺祐志・山神正弘・下野勝昭：施肥窒素の有効利用による秋播小麦の高品位安定生産（第3報）葉緑素計を用いたチホクコムギの葉色測定による子実蛋白質含有率の推定，土肥要旨集，39，159(1993)
- 20) 山下幸恵・西岡廣泰・横尾浩明：パン用コムギ品種「ニシノカオリ」の子実タンパク質含有率に及ぼす穂揃期追肥の効果，日作九支報，71，20-22(2005)

7. Summary

The effect of cultivation method on yield and method of control the protein content of grain in the hard wheat variety “Minaminokaori” was researched.

- 1) It was high percentage of the freezing damage of young panicles and the yield was low in case of early seeding. As a result, it was thought that early seeding is unsuitable.
- 2) There was no effect of yield increase by increasing the seeding rate.
- 3) There was no effect of yield increase by shortening the row distance.
- 4) About the influence which the top dressing on the yield, although there was no effect of yield by increasing the top dressing at the tillering stage, there was clear effect of yield by increasing the top dressing at panicle formation stage.
- 5) The protein content of grain can be estimated in high accuracy by using the SPAD value \times length of leaf blade of the uppermost second leaves at full heading time