

耕土深および緩効性肥料の施肥方法が水稲「ヒノヒカリ」の 収量、品質に及ぼす影響

松永 雅志*・中島 勘太・池尻 明彦**・内山 亜希*・渡辺 大輔・金子 和彦

Effects of Cultivated Soil Depth and Slow-Release Fertilization Method on the Yield and Quality of 'Hinohikari' Rice

Masashi MATSUNAGA, Kanta NAKASHIMA, Akihiko IKEJIRI, Aki UCHIYAMA, Daisuke
WATANABE and Kazuhiko KANEKO

Abstract: The higher temperatures experienced in recent years have resulted in deterioration of the quality of rice due to the occurrence of white immature grains. Thus, we aimed to establish a high-quality rice production technology to overcome this challenge. To optimize the conditions of rice cultivation, we examined the influence of the depth of plowing, type of slow-release fertilizer used, and amount of fertilizer applied on the yield and quality of 'Hinohikari' rice. When the cultivation depth was less than 10 cm, the occurrence of white ground grains increased and the quality of the appearance of the rice was decreased. The occurrence of white immature grains was more likely with high temperatures after heading but was less likely when the leaf color was dark at the heading stage. For 'Hinohikari' rice at the early planting stage, heavy nitrogen manure application resulted in darkening of the leaf color at the heading stage and decreased the number of basal white particles. In addition, during years with higher temperature, the application of a late-season fertilizer enhanced the leaf color at the heading stage and decreased the number of basal white particles.

Key Words: heavy manuring, high temperature, late-season fertilizer, white immature grain

キーワード: 深耕, 多肥, 高温, 後期重点型肥料, 基白粒

緒言

近年、登熟期の高温に起因する米の品質低下が全国的な問題となっており、山口県においても登熟期間が高温となった2007年、2008年、2010年産米は、基白粒、背白粒などの白未熟粒の多発が影響して1等米比率が33~52%と著しく低くなった。白未熟粒の発生については登熟期が高温となることで増加し、さらに水稲の栄養状態が悪い場合に顕著になる。県内の水田では、担い手の高齢化等による労働力不足から耕起が十分に行われず、耕土深の浅いほ場が増えているとともに、1990年代以降米の食味重視の面から、窒素施肥量が減少傾向で推移していることが報告されている(河野・徳永, 2013)。また、緩効性肥料の普及により

気象や生育の変動に応じた肥培管理が難しい状況となっており、これらのことが高温気象と相まって前述の品質低下を引き起こしていると考えられる。

高温における水稲の品質向上対策として、これまで深耕における効果等は報告(新村, 1985; 松村, 2008; 田中・狩野, 2007)があるが、耕土深の程度について示した知見は少なく、検討する必要がある。また、近年の高温における肥効の前進化が懸念されており、その対策として開発された後期重点型肥料の施用が水稲に及ぼす影響についても確認する必要がある。

本研究では、県平坦部での栽培面積が多く、高温年に品質低下が顕著である水稲品種「ヒノヒカリ」を対象にこれらの検討を行い、収量および品質の向上について一定の知見を得たので報告する。

*現在: 農業振興課 **現在: 岩国農林事務所

材料および方法

試験は2012～2013年の2か年、山口県農林総合技術センター(山口市大内氷上:標高33m)のほ場で行った。水稲「ヒノヒカリ」を用いて稚苗機械移植で実施した。調査ほ場の土壌は、移植前に作土の化学性を調査した(第1表)。各年次とも、生育期間中には富士平工業製カラスケールを用いて葉色(群落)を目視で調査するとともに、穂揃期については、葉色と関連の高いサタケ製葉身窒素計PPW-3000を用いて止葉の葉身中央部における葉身窒素計値を測定した。また収量構成要素および玄米外観品質について調査した。これに拠らない項目は図表の脚注に調査方法を記した。試験規模は1区34～84 m²とし、調査数は1区20株、2反復の乱塊法で実施した。

1 耕土深が収量および外観品質に及ぼす影響

耕土深は浅耕区10cm、標準区15cmおよび深耕区20cmに設定して両年5月8日に耕起した。代かき後、2012年5月25日、2013年5月28日に稚苗を坪60株設定で移植した。施肥はLPSS522(15-12-12)を使用し、窒素施肥量で6.0kg/10aを2012年は植え代前、2013年は耕起前に、全量を基肥で施用した(第2表)。

2 施肥量が収量および外観品質に及ぼす影響

セラコートR024(20-12-14)を、窒素成分で標肥区は7.5kg/10a、多肥区は10.0kg/10a施用した(第2表)。耕土深は15cmに設定して耕起した。稚苗をととして、2012年は5月24日(56号田)、2013年は6月3日(47-3号、56号)に移植した。

3 後期重点型肥料が収量および外観品質に及ぼす影響

耕土深は15cmに設定して耕起した。代かき後、2012年5月24日、2013年6月3日に、移植した。供試品種は「ヒノヒカリ」で窒素成分7.5kg/10aを施用した。緩効性肥料の種類については、後期重点型肥料として後期重点①および後期重点②を用い、セラコートR024と比較した(第2表)。リン酸とカリは各区の施用量が等しくなるよう、不足分を重焼燐と塩化加里で補正した。また、2013年は、供試した緩効性肥料を構成する被覆窒素の溶出率を、以下の方法で調査し

た。被覆窒素ごとに約2.5gを計量して、網袋に入れ、ほ場試験の施肥と同じ日に、試験ほ場の土壌中約5cmの深さに埋設した。定期的にサンプル(3袋)を掘り出してケルダール法で残存窒素を測定し、埋設前の肥料の窒素含量と比較することで、期間中のほ場溶出率を測定した。

第1表 供試ほ場の化学性

試験名	調査の前作	T-N (%)	T-C (%)	腐植含量 (%)	CEC (me/100g)
81号	(~8cm) 水稲	0.12	1.3	2.2	8.1
	(~13cm)	0.11	1.2	2.1	8.8
	(~18cm)	0.10	1.1	1.9	8.3
供試ほ場の平均値		0.14	1.6	2.7	11.7

※いずれのほ場も礫質灰色低地土・砂壤土。
作土深試験ほ場は、地表面からそれぞれ0～8cm、8～13cm、13～18cmを採土した。

第2表 供試した緩効性肥料

肥料名	窒素成分のうち、速効性と緩効性の構成割合
慣行 セラコートR024	速効N:40%、S50日:10%、S90日:20%、S110日:30%
後期重点①	速効N:20%、S50日:10%、S90日:20%、S110日:30%、S130日:20%
後期重点②	速効N:20%、S50日:10%、S130日:70%
LPSS522	速効N:25%、L100日:24%、S100日:52%

※Lはリニア型、Sはシグモイド型を表す
日数は25℃で肥料窒素の80%が溶出する期間

結果

1 気象概況

2012年は移植後、7月中旬の最高分げつ期まで気温はほぼ平年並で推移し、7月中旬～8月20日にかけて高温多照天候で推移した(第3表)。出穂後20日間の平均気温は、平年値に比べて高温であった。2013年は移植後から気温は平年並～やや高く推移し、7月中旬～8月中旬(最高分げつ期頃～出穂期前)まで平年より高く推移した。出穂後20日間の日平均気温の平均値は、平年並であった。

2 耕土深が収量および外観品質に及ぼす影響

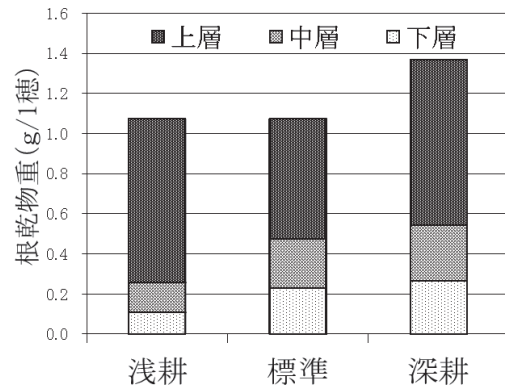
代かき・移植後の耕土深は、2か年とも浅耕区が10cm、標準区が15cm、深耕区が20cmであった。1穂当たりの根量は、3処理区のうち深耕区がやや多く、浅耕区と標準区は同程度の根量であった。ただし、浅耕区と標準区では層別の根量が異なり、10cmより下層の根量が浅耕区は標準区に比べて少ない傾向があった(第1図)。

出穂後 20 日間の日平均気温が平年より高い 2012 年は基白粒の発生が 2013 年に比べて多かった。耕土深による基白粒の発生程度は、浅耕区で基白粒の発生程度が他区に比べて有意に高かった(第 4 表)。外観品質は、深耕区、標準区、浅耕区の順でよかった。また浅耕区では、標準区に比べて窒素吸収量は減少した。

第 3 表 出穂期後 20 日間の平均気温と積算日照時間

出穂後20日間 平均気温(°C)			出穂後20日間の 積算日照時間(h)		
2012	2013	平年値	2012	2013	平年値
27.9	25.6	26.1	140	85	119

※気温、日照時間も気象庁地域気象観測システム(山口県山口)のデータ
平年値は、平年出穂期である 8 月 20 日を基準とした



第 1 図 耕土深が層別の根乾物重に及ぼす影響(2013 年)

※出穂 10~11 日後に各 1 株を中心 40 cm×30 cm×5 cm のモノリスを取り地表から上層(0~5 cm)、中層(5~10 cm)、下層(10 cm 以下)の各層の根を採取し、根乾物重(g)/1 穂で算出。

第 4 表 耕土深が収量および収量構成要素、外観品質、白未熟粒率、窒素吸収量に及ぼす影響

年次	区名	収量 (kg/10a)	穂数 (本/m ²)	1穂粒数 (粒/穂)	m ² 粒数 ×100	登熟歩合 (%)	千粒重 (g)	外観 品質	白未熟粒率(%)		窒素吸収量(g/株)
									基白	最高分げっ期 穂揃期	
2012	浅耕	515 a	313	83.4	261	82.1	22.5	6.0 a	16.3 a	0.22	0.47
	標準	505 a	363	75.3	273	81.4	22.2	5.8 ab	9.2 b	0.34	0.58
	深耕	490 b	326	78.7	257	87.3	22.6	5.3 b	9.4 b	0.23	0.41
2013	浅耕	488 a	359	79.1	284	73.1	21.5	6.1 a	10.7 a	—	0.52
	標準	508 a	347	85.9	298	71.7	21.7	5.1 b	6.3 b	—	0.58
	深耕	428 b	303	98.0	297	68.5	21.7	4.9 b	5.4 b	—	0.53
分散分析	耕土深	*	*	*	n.s.	n.s.	n.s.	**	**	n.s.	*
	年次	*	n.s.	**	n.s.	n.s.	**	n.s.	**	—	n.s.

※*は 5%、**は 1%水準で有意差があり、n.s.は有意差がないことを示す。年次内で同じ英文字間には Tukey の多重比較により 5%水準で有意差がない。耕土深は浅耕 10 cm、標準 15 cm、深耕 20 cm で実施。施肥は LPSS522 を窒素施肥量 6 kg/10a 外観品質は 1~9 で示し、1~5 を概ね検査等級の 1 等、6~7 を 2 等、8~9 を 3 等とした
白未熟粒(基白)は、サタケ社製穀粒判別器で調査した。施肥は LPSS522 を窒素施肥量 6 kg/10a
外観品質は 1~9 で示し、1~5 を概ね検査等級の 1 等、6~7 を 2 等、8~9 を 3 等とした
白未熟粒(基白)の調査は、サタケ社製穀粒判別器を用いて実施した

3 施肥量が収量および外観品質に及ぼす影響

基白粒の発生は、出穂期後 20 日間の平均気温が 26°C 以上であった 2012 年で多く、26°C 未満であった 2013 年は発生が僅かであった(第 2 図)。葉色と基白粒の発生の関係については、基白粒の多い 2012 年において穂揃期の葉身窒素計値が高いほど、基白粒の発生は減少した(第 2 図)。施肥量と基白粒の発生の関係については、多肥で減少した(第 5 表)。また基白粒の発生が多い 2012 年は、少ない 2013 年に比べて多肥による基白粒の発生割合の減少が大きい傾向であった。

収量については、多肥で穂数と 1 穂粒数が確保され、m² 当たり粒数が増加したことから多収となった。2 年とも同様な傾向であった。食味に関連する玄米タ

ンパク質については多肥でやや増加する傾向であった(第 5 表)。

4 後期重点型肥料が収量および外観品質に及ぼす影響

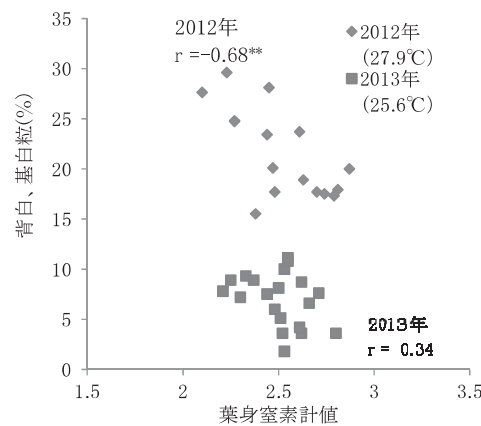
後期重点型肥料区は年次を通して、穂揃期の葉身窒素計値が高く、基白粒(一部背白粒を含む以下も同様)の発生は減少する傾向があった(第 6 表)。また収量は慣行区に比べて後期重点区で並~増加する傾向であった。

2012 年は出穂期後高温により基白粒の発生が増加したが、慣行区に比べて後期重点①区では発生が減少する傾向が認められた。2013 年は、2012 年に比べて出穂期後の気温が低く、基白粒の発生は少なかったが、慣行区に比べて後期重点①・②区では基白粒の発生が

第5表 緩効性肥料の窒素施肥量が生育、収量、外観品質に及ぼす影響

年次	窒素施肥量 (kg/10a)	葉身窒素計の値 の値 穂揃期	出穂期 (月/日)	穂数 (本/m ²)	収量 (kg/10a)	同左比率 (%)	m ² 穂数 ×100	登熟歩合 (%)	千粒重 (g)	玄米タンパク (%)	外観品質	白未熟粒率 (%) 背白・基白 (%)	
2012	標肥	7.5	2.4 b	8/15	359	588 b	100	314	87.4	22.3	7.0	6.0	24.6
	多肥	10.0	2.4 ab	8/15	377	645 a	110	344	87.0	22.1	7.2	6.0	17.5
2013	標肥	7.5	2.3 b	8/18	386	499 b	100	344	71.6	21.5	7.4	5.5	7.5
	多肥	10.0	2.5 a	8/18	385	575 ab	115	359	71.3	21.3	7.8	5.2	6.6
分散分析	施肥量	*	-	n.s.	*	-	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	*	
	年次	n.s.	-	n.s.	*	-	n.s.	*	*	*	*	*	

※*は各区間に5%水準で有意差があり、n. s. は有意差がないことを示す。また同一年次内で異なる英文字間にはTukeyの多重比較により5%水準で有意差があることを示す。品種は「ヒノヒカリ」。玄米タンパクは乾物換算。玄米タンパクはニレコ社製スペクトロフォトメーターで測定した乾物%で示した。外観品質は1~9で示し、1~5が概ね検査等級の1等、6~7が2等、8が3等とした。白未熟粒の調査は、2012年にサタケ社製穀粒判別器を用いて実施し、2013年は500粒について目視により軽微なものも含めた。

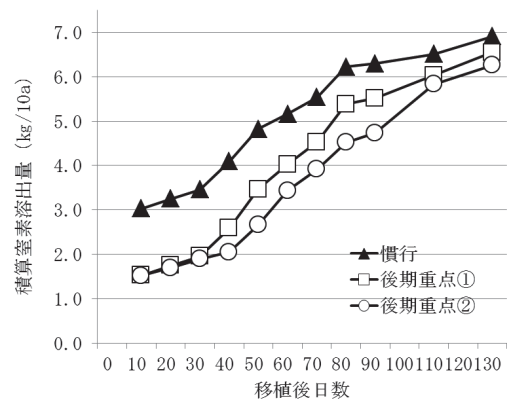


第2図 穂揃期の葉身窒素計値と背白粒・基白粒発生率との関係

※2012年 n=16、2013年 n=20

背白粒・基白粒は、2012年はサタケ社製の品質判別器、2013年では500粒について、目視で軽微なものも含めて数えた。()内数値は出穂期後20日間の平均気温を示す

減少する傾向が認められた。また、緩効性肥料の積算溶出量は、慣行区では移植後80日頃には概ね最大になったが、後期重点①区と②区では最高分げつ期頃である移植後40日頃から溶出量が多くなり、登熟期間中も溶出が続いた。後期重点①区は移植後40日から溶出が多くなったが、②区ではそれより少し遅れて溶出が多くなり、移植後110日頃には、ほぼ同程度の積算溶出量になった。①区、②区では出穂期以降の溶出が慣行の標肥区に比べて1kg/10a程度多かった(第3図)。①区、②区の肥効パターンの違いによる収量、品質に有意な差はなかった(第6表)。



第3図 肥料の種類と被覆尿素的積算溶出量 (2013年)

第6表 緩効性肥料の種類が生育、収量、外観品質に及ぼす影響

年次	肥料の種類	窒素 施肥量 (kg/10a)	葉身窒素計 の値 の値 穂揃期	出穂期 (月/日)	穂数 (本/㎡)	収量 (kg/10a)	同左 比率 (%)	m ² 穂数 ×100	登熟 歩合 (%)	千粒 重 (g)	玄米 タンパク 質 (%)	外観 品質 (1-9)	白未熟粒率(%) 背白・基白 (%)
2012	慣行	7.5	2.4	8/15	359	588	100	314	87.4	22.3	7.0	6.0	20.5
	後期重点①	7.5	2.6	8/15	348	616	105	317	87.4	22.4	7.2	6.0	17.5
2013	慣行	7.5	2.3	8/18	386	499	100	344	71.6	21.5	7.4	5.5	7.5
	後期重点①	7.5	2.6	8/18	387	491	98	337	76.3	21.3	7.5	4.9	6.6
	後期重点②	7.5	2.6	8/18	399	549	110	411	63.8	21.4	7.5	4.9	5.3
分散分析	施肥種類	*	-	n.s.	n.s.	-	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	*
	年次	n.s.	-	*	*	-	*	*	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	*

※分散分析の*は各区間に5%で有意差があり、n.s.は有意差がない玄米タンパクはニレコ社製スペクトロフォトメーターで測定した。乾物%外観品質は1~9で示し、1~5を概ね検査等級の1等、6~7を2等、8~9を3等とした白未熟粒の調査は、2012年にサタケ社製穀粒判別器を用いて実施し、2013年は500粒について目視により軽微なものも含めたにサタケ社製穀粒判別器を用いて実施し、2013年は500粒について目視により軽微なものも含めた。

考 察

1 耕土深が収量および外観品質に及ぼす影響

本試験において、根量は深耕区で増加し、標準区と浅耕区では同程度であったが、浅耕区で外観品質が低下した。外観品質の差異の要因として浅耕区の5cmから上部の根量の割合が多いため、酸素競合がおり根の活性が低下し、養分吸収が抑制されたことで基白粒の増加につながったと考えられる。これは養分保持力の低下が基白粒の発生要因となるとの報告(白矢ら, 2015)、さらには根域制御で10cm以下の根量を増加させることで生育を改善させる効果の報告(白矢ら, 2015)と一致している。

収量については、深耕区で並~低下する傾向があった。深耕区の収量低下要因としては、試験ほ場ではCEC値が供試ほ場の平均値より低く、さらに地表面から深くなるにつれ腐植含量が低下していることから(第2表)、深耕により下層の肥沃度の低い土壌が作土へ混入したことで、窒素吸収量が低下し、生育量が確保できず減収したと考えられる。また収量性については、耕土深と施肥方法の組み合わせで異なる傾向を示した。植え代前施肥であった2012年は穂数に有意差はなく、耕土深による収量性の違いに有意な差は認められなかった。一方で耕起前施肥であった2013年は耕土深が深くなるにつれて穂数は少なく、深耕区で収量が少なくなった(第4表)。植え代前施肥をした2012年では耕土深による収量差がなく、耕起前施肥した2013年では深耕区で収量性が低下したことから、施肥方法が異なることで施肥位置による収量への影響が示唆される。このことから耕起前施肥に比べて

植え代前施肥の場合では、施肥位置が深くなりにくくかつ耕起した土壌全体に肥料が拡散しないため、深耕においても、収量が変動しない可能性が考えられた。一般的に普及している側条施肥においては、施肥位置が深くなりにくいいため収量性は深耕でも変動しにくいと考えられる。一方、全層施肥で深耕を行う場合には収量を確保するために施肥量を増やす必要があると考えられる。

本試験では、深耕を行う場合、全層施肥による土壌中の施肥割合の低下や下層の土壌の混和による地力低下等を要因とした減収の可能性を考慮すると耕土深は15cm程度確保されればよいと考える。

2 施肥量が収量および外観品質に及ぼす影響

本試験において、基白粒の発生は高温年で増加し、穂揃期の葉身窒素計値と負の相関関係があった(第2図)。これは、基白粒や背白粒は登熟初中期の高温により発生するが(長戸・江幡, 1965)、植物体の低窒素栄養条件により発生が助長され(近藤ら, 2006)、窒素追肥等により穂揃期の葉色が濃いほど基白粒、背白粒の発生が減少する(高橋, 2006;若松ら, 2008)ことを支持した。

供試した「ヒノヒカリ」は高温による品質低下が顕著で2010年には1等米比率33%(平年76%)であった。本試験においては、出穂期後20日間の平均気温が26℃以上の高温に遭遇した2012年は基白粒の発生が多く、出穂期後20日間の平均気温が26℃未満であった2013年は基白粒の発生が少なくなったと考えられ、基白粒発生には気温による差が大きかったと思われる。生育の年次間差について、2012年は2013年に比べて移植時期が早く栄養成長期間が初期の好天に恵

まれて、初期生育が確保されたことから、茎数が多く、多肥条件で穂数増加により収量が向上したと考えられた。

以上のことより多肥栽培は出穂期後 20 日間の平均気温が高い場合には、穂揃期の体内窒素濃度を維持し基白粒の発生の抑制効果が高いと考える。また気温が平年並程度でも穂揃期頃の栄養条件を改善し、収量の向上に一定の寄与する傾向があることが示された（第 5 表）。1970 年代以降食味向上のため施肥量を削減する方向であったが、近年の登熟期の高温等による品質低下を勘案し、品質向上と安定収量を含めて栽培体系にあった適正な施肥量が必要であると考えられる。

3 後期重点型肥料が収量および外観品質に及ぼす影響

「ヒノヒカリ」の早植えに緩効性肥料のシグモイド型 130 日の被覆尿素を加えた後期重点①・②区で、葉色が穂揃期頃の葉身窒素計値が高くなり、収量は並から増収傾向で、外観品質は同程度から向上する傾向があった。これは、最高分げつ期から幼穂形成期までのラグ期間が長く相対的に生育期間の長い「ヒノヒカリ」の早植えについては、後期重点型肥料がある程度有効であると考えられる。加えて早植えについては、出穂期に高温に遭遇しやすく品質低下を引き起こす可能性が高いため、後期重点型肥料の活用が有効であると考えられる。収量と外観品質向上には、多肥栽培と同様に穂揃期の葉色を濃く（葉身窒素計で 2.6 程度）することが重要であると推察され、高温年における後期重点型肥料は有効であると考えられる。ただし、高温年でない年では、生育期間の長さによって穂揃期頃の溶出が少なくなり葉色を濃くする効果が期待できない場合や生育期間中の溶出不足により収量が低下する場合が想定されるため、シグモイド型のブレンド割合を検討する必要があると考える。

摘 要

近年の高温年の白未熟粒の発生による品質低下に対応した良質米生産技術を確立するため、品質低下の著しい「ヒノヒカリ」の耕土深、緩効性肥料の施肥量や種類が収量および品質に及ぼす影響について検討を行った。耕土深は 15 cm で品質収量が安定した。「ヒノヒカリ」早植えでは、窒素施肥量 7.5 kg/10a に比べて

10 kg/10a の多肥で、穂揃期の葉色が濃くなり、基白粒が減少した。「ヒノヒカリ」の早植えでは、高温年に後期重点型肥料の施用で穂揃期の葉色が濃くなり、基白粒が減少した。

引用文献

- 河野竜雄・徳永哲夫. 2013. 県内水田土壌の 30 年間の変化について. 平成 25 年度 山口農林総技セ成果発表. : 40-41.
- 近藤始彦・森田敏・長田健二・小山豊・上野直也・細井淳・石田義樹・山川智大・中山幸則・吉岡ゆう・大橋善之・岩井正志・大平陽一・中津紗弥香・勝場 善之助・羽嶋正恭・森芳史・木村浩・坂田雅正. 2006. 水稲の乳白粒・基白粒発生と登熟気温および玄米タンパク含有率含有率との関係. 日作紀 75 (別 2) : 14-15.
- 松村修. 2008. 米品質に及ぼす作土深と根活性の影響について. 日作紀 77 (別 2) : 14-15.
- 長戸一雄・江幡守衛. 1965. 登熟期の高温が穎果の發育ならびに米質に及ぼす影響. 日作紀 34 : 59-65.
- 白矢武士・佐藤徹・東聡志・金井政人. 2015. 遮根透水シートによる根域制御が水稲の品質に及ぼす影響. 北陸作物学会報 50 : 20-31.
- 高橋渉. 2006. 気候温暖化条件下におけるコシヒカリの白未熟粒発生軽減技術. 農業および園芸 81 (9) : 1012-1018.
- 田中研一・狩野幹夫. 2007. 高温登熟条件下においてコシヒカリの玄米品質を向上させる圃場条件. 関東東北陸農業研究成果情報平成 19 年度
- 新村善男. 1985. 栽培・土壌からみた土づくりの現状と今後の対策. 富山県農試研究報告 16 : 34-44.
- 若松謙一・佐々木修・上園一郎・田中明男. 2008. 水稲登熟期の高温条件下における背白米の発生に及ぼす窒素施肥量の影響. 日作紀 77 : 424-433.