

Ⅳ. 高温に対応した栽培技術開発の現状と方向

1. 高温に対応した技術の全体像

1) 対策の考え方による分類

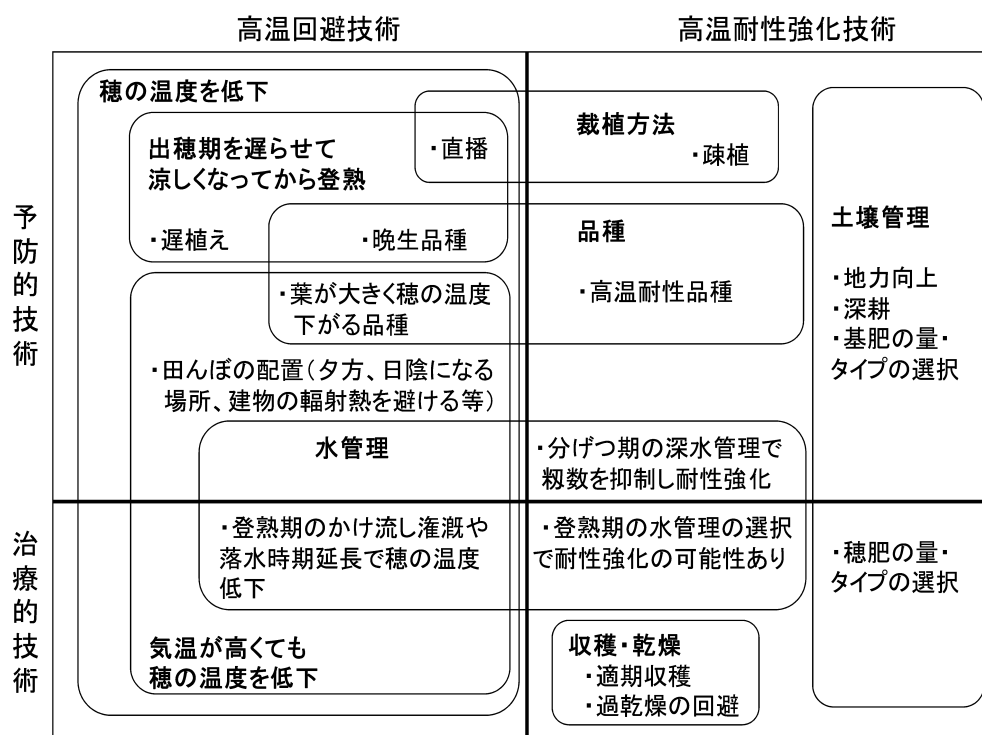
高温登熟障害の対策技術は、第85図に示したように、高温を回避する技術と高温にあたっても耐える技術、そして、別の視点では水稻の作付け時など開花期や登熟期が高温になるかわからない段階であらかじめ高温に備えておく予防的な技術と、作付け後に高温が発生してからあるいは予測されてから発動する治療的な技術に分類することができる（森田2007）。

高温を回避する技術では、本章2.の「作期移動」で記されているように、田植えを遅くすることにより出穂期を遅らせること、すなわち秋涼しくなってから実らせることが効果的で、現在多くの地域で導入されている。また、出穂期を遅くする方法としては、このほかに直播や晩生品種の導入も有効である。これらはいずれも予防的な技術といえる。

高温にあたっても耐える技術については、Ⅱ章に記されている「耐性品種の導入」が効果的である。九州沖縄農研では、2005年に高温寡照耐性のある新品種にこまるを育成し（坂井ら 2005）、2008年の

作付面積は九州を中心に2,000ha程度に達している。この品種は、登熟期が不良環境条件となったときの登熟向上に貢献するとされる穂揃期の茎内非構造的炭水化物がヒノヒカリよりも明らかに多い（森田2008）。このほか、福岡県では元気つくし（ちくし64号）（2008年）、佐賀県ではさがびより（佐賀37号）（2008年）、熊本県ではくまさんの力（2007年）などが育成されて、普及が図られている。

また、高温耐性を高める栽培法としては、本章3.4.で記されている「施肥改善」が考えられる。近年は食味向上をねらって晩期穂肥を減らすあるいはやめる傾向にあり、このことが、特に背白粒・基部未熟粒の発生を助長している可能性がある。一方で、出穂前の高温により、緩効性肥料や地力窒素が早く発現して籾数過多となり、このことが、乳白粒の発生助長している可能性がある。したがって、土壌条件や気象条件、稲の生育状態をみながら施肥量・時期を調整する必要がある。このような追肥の診断技術は治療的な技術と言える。なお、予防的技術としての土壌管理では、本章5.で記されているように、堆肥投入や深耕が高温年における米の品質



第85図 高温登熟障害を克服する技術の性格による分類

維持に効果があることも農家圃場や有機物連用試験圃場の調査などから浮き彫りになっており、低地力圃場ではその改善効果が期待される。

このほか、水管理については、本章6. に記されているように落水時期の延長が高温登熟障害の回避に効果があることを見出した調査結果がある。また、北陸地域では深水管理により高温年における品質改善効果を認めている(千葉・松村 2006)。落水時期の延長については、登熟期の気象条件に応じて実施することになるので、治療的な高温耐性向上技術と言える。一方、夜間入水やかけ流しかんがいにより圃場温度を下げる試みも見られ(永畠ら 2005)、この場合は、治療的な高温回避技術と言える。ただし、これらの水管理は、地域の水利慣行や用水温度の制約など、実施できる地域が限定されたり十分な効果が上がらない場合も想定され、各地域での検証が必要である。

これらの技術の効果は、現在多くの地域で検討が進められており、北陸地域などすでに技術体系を現場に提示して一定の品質向上効果を上げているケースもある(高橋 2004)。九州の場合、高温に加えて日照不足や台風、病害虫など、作柄・品質低下の要因が複数あり、一筋縄ではいかない難しさがあるものの、今後早い時期に、処方箋を現場に示していく必要がある。なお、中長期的には、さらに耐性の強い品種や栽培技術を開発するために高温障害のメカニズムの解明を一層進める必要がある。現在、ゲノム研究の成果も活用して玄米でのデンプン合成能力について鋭意研究が進められている。耐性品種の育成に関しては、高温処理条件(福岡県での温水掛け流し、鹿児島県・宮崎県でのガラス温室処理)や遮光処理条件(九州沖縄農研)で耐性品種を選抜する試みも行われており、その成果が期待される。栽培法については、作期移動や施肥法、水管理法に関する研究も盛んになっており、これらの技術を組み合わせた実証試験が今後の重要な課題となる。

引用文献

- 1) 千葉雅大・松村修(2006) 日作紀 75 (別2): 100-101.
- 2) 森田敏(2007) 農業技術大系作物編技522の29の51の37: 2-10.
- 3) 森田敏・田村克徳・中野洋・北川壽・坂井真・

高橋幹(2008) 日作紀 77 (別2): 198-199.

- 4) 永畠秀樹・中村啓二・猪野雅哉・黒田晃・橋本良一(2005) 高温登熟条件下における乳白粒および胴割粒の発生軽減技術. 石川県農業総合研究センター研究報告 26: 1-10.
- 5) 坂井真・岡本正弘・田村克徳・梶亮太・溝淵律子・平林秀介・深浦壮一・西村実・八木忠之(2007) 玄米品質に優れる暖地向き良食味水稻品種「にこまる」の育成について. 育種学研究 9: 67-73.
- 6) 高橋渉(2004) 農及園 81: 1012-1018.

2. 作期移動

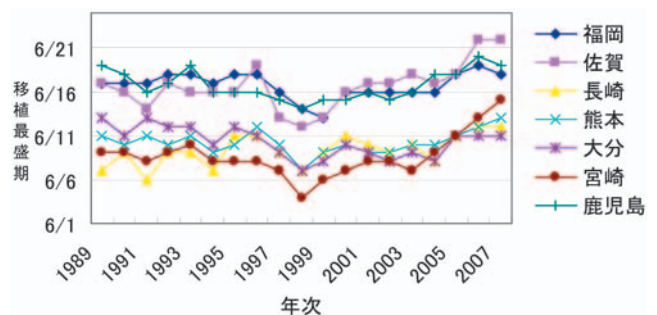
近年、登熟期の高温による登熟低下が指摘されているが、その要因の一つとして移植時期が早まり登熟期が高温に遭遇しやすくなっていることが考えられる。そこで、九州各県の田植期や出穂期および成熟期の変遷について、農林水産省の資料をもとに検討した。

1) 作期の変遷

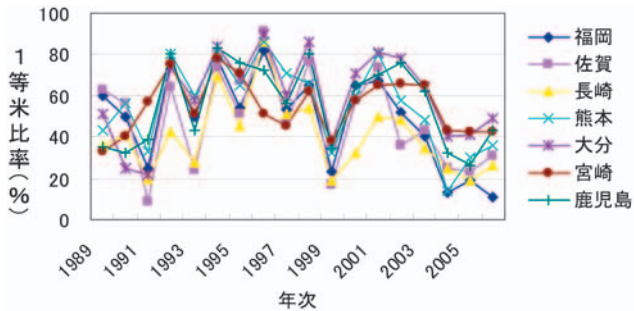
九州地域においては、概ね、極早生種を活着限界温度に近い時期に移植する早期栽培と入梅以降に移植する普通期栽培の2つの作型に大別されるが、ここでは普通期栽培について検討する。

第86図は1989年から2007年までの各県における移植最盛期を示したものである。これを見ると、6月4半旬以降が移植最盛期となる福岡県、佐賀県および鹿児島県と6月2半旬から3半旬に移植が最盛期となる長崎県、熊本県、大分県および宮崎県に分けられる。

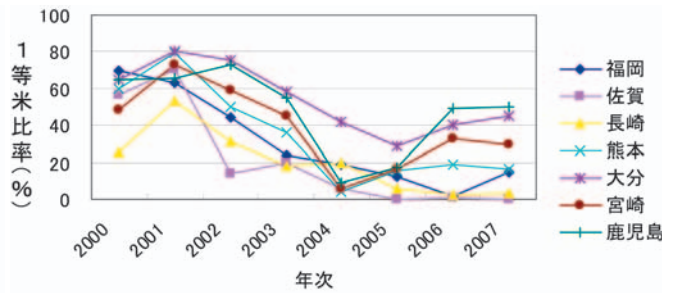
福岡県および佐賀県は水稻+麦作体系が多く、移植時期が遅いと推察され、熊本県、大分県および宮崎県は中山間部が多く、移植がやや早いと考えられ



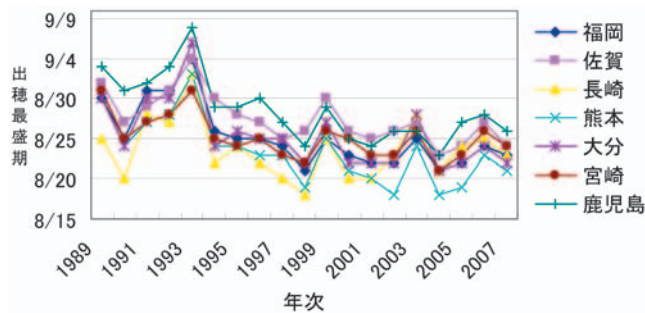
第86図 九州各県における水稻移植最盛期の推移
農林水産省資料より作成。



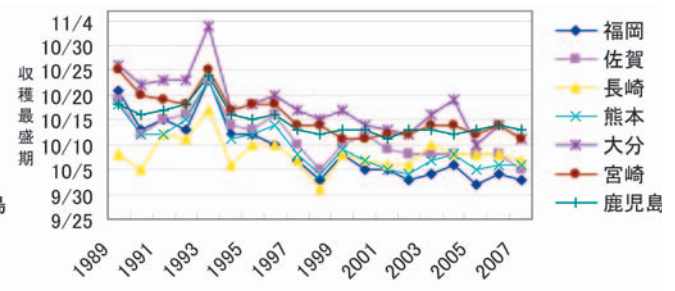
第87図 九州各県における1等米比率の推移
農林水産省資料より作成。



第88図 九州各県におけるヒノヒカリの1等米比率の推移
農林水産省資料より作成。



第89図 九州各県における水稻出穂最盛期の推移
農林水産省資料より作成。



第90図 九州各県における水稻収穫最盛期の推移
農林水産省資料より作成。

る。また長崎県は大きな河川が少なく、用水確保のため入梅時期に移植する地域が多いことが要因と思われる。

移植最盛期は、1999年まで各県とも早くなる傾向が見受けられた。この背景として、ヒノヒカリが急速に拡大し、適期収穫が難しくなったことにより、収穫適期幅の拡大が望まれたことが挙げられる。各県農業試験場でも1990年前後にヒノヒカリの作期移動試験が実施されている。長崎県においても、共同乾燥施設の稼動を円滑に進めるため、ヒノヒカリの移植時期を早め、作期分散を図った地域があった。同様なことが、九州各地で実施され、移植時期が早まる傾向になったのではないかと推察される。

その後、2000年頃からは各県とも移植最盛期が徐々に遅くなってきている。これは、1999年に全国的に夏季が高温で、登熟期の高温による品質低下が問題となり、そのため2000年以降、移植時期を遅くする指導が各地で始まり拡大していったためではないかと推察される。しかしながら、各県の1等米比率（第87図）やヒノヒカリの検査等級（第88図）の推移を見ると、2002年以降、品質低下が顕著になってきており、この図からは遅植えの効果は読み取れない状況である（遅植えの効果に関する研究結果は

後述する）。

次に、出穂期であるが、第89図に1989年から2007年までの各県の出穂最盛期を示した。1989年では長崎県を除き8月末から9月初めに、出穂最盛期を迎えたが、1994年を境に年々早くなる傾向が見受けられ、2006年では8月5日、6半旬が出穂最盛期となっている。

1987年に現在九州地域の主力品種となっているヒノヒカリが各県で導入され、面積が拡大し、中生種の面積が増加したことも出穂最盛期が総じて早くなってきていることの要因の一つであると考えられる。しかし、移植最盛期は2000年以降やや遅くなっているが、出穂最盛期は品質が概ね良好であった2001年とさほど変わっていない。

収穫期は1987年では長崎県を除き10月下旬が収穫最盛期であった。収穫最盛期は年々早くなる傾向となっている（第90図）。これは出穂期が早くなったことと同様な理由によるものと考えられる。2006年では熊本、宮崎、鹿児島県が10月中旬、その他の県が10月上旬となっているが、品質低下が顕著となった直近5カ年を見ると大きな差は認められない。

近年、移植時期は遅くなる傾向にあるが、夏季の高温が著しく、高温障害回避には結びついていないと考えられる。

第70表 ヒノヒカリ及びにこまるの移植時期と収量及び品質 (長崎総農林試)

年次	品 種 名	移 植 期 (月/日)	出 穂 期 (月/日)	成 熟 期 (月/日)	m ² 当 初 数 (×100)	千 粒 重 (g)	玄 米 重 (kg/a)	検 査 等 級	平 均 気 温 (℃)	日 照 時 間 (h)	心 白 粒 (%)	乳 白 粒 (%)	背 白 粒 (%)
2005	ヒノヒカリ	5/19	8/9	9/14	215	22.8	39.9	2等上	27.2	81.0	2.5	2.0	45.0
		6/1	8/13	9/19	252	23.0	46.2	2等中	27.1	53.5	4.3	1.8	17.5
		6/8	8/18	9/26	269	22.4	44.3	3等上	26.6	35.7	4.8	12.8	9.5
		6/15	8/20	9/29	244	22.5	45.8	3等中	26.6	45.9	1.5	11.8	26.0
		6/20	8/24	10/4	277	22.7	50.7	3等中	26.8	70.9	2.8	7.5	27.5
		6/29	8/30	10/11	310	23.6	53.7	2等下	26.6	57.0	8.5	1.5	2.5
		7/7	9/2	10/15	292	23.3	48.1	3等上	26.4	48.7	3.8	1.0	1.8
	にこまる	5/19	8/13	9/18	217	24.9	44.8	2等上	27.1	53.5	3.3	0.5	12.0
		6/1	8/18	9/23	240	23.6	48.0	2等上	26.6	35.7	0.3	2.0	4.8
		6/8	8/20	9/26	262	23.8	51.8	1等下	26.6	45.9	1.0	4.0	1.5
		6/15	8/24	10/3	265	24.6	56.2	1等下	26.8	70.9	0.5	0.8	1.3
		6/20	8/27	10/7	296	24.9	57.5	1等中	26.7	60.7	1.0	0.3	0.3
		6/29	9/1	10/11	316	24.2	58.0	1等下	26.5	46.2	0.8	0.3	0.0
		7/7	9/4	10/17	294	24.9	58.3	1等下	26.1	44.7	1.0	0.5	0.3
2007	ヒノヒカリ	5/18	8/10	9/20	206	21.9	31.9	規格外	28.9	77.8	13.5	1.3	79.0
		6/1	8/16	9/27	205	22.4	39.3	規格外	28.4	84.3	17.0	3.3	76.8
		6/15	8/21	9/28	265	22.4	51.7	規格外	27.8	74.4	6.0	3.0	62.8
		6/21	8/25	10/2	238	23.6	49.1	規格外	27.4	69.0	7.0	1.8	25.3
		6/29	8/27	10/3	268	22.7	51.2	3等中	27.4	63.1	8.8	1.0	18.0
		7/6	8/30	10/5	263	22.7	49.8	2等下	27.4	69.5	6.5	4.3	13.0
		7/13	9/2	10/10	263	22.7	49.6	3等上	27.6	78.1	4.0	5.0	4.3
	にこまる	5/18	8/15	9/23	195	24.6	36.8	3等下	28.5	85.5	—	—	—
		6/1	8/20	9/27	226	24.5	45.8	3等中	27.9	72.3	—	—	—
		6/15	8/24	10/1	263	24.5	55.5	3等上	27.4	64.2	—	—	—
		6/21	8/27	10/3	244	23.8	59.0	2等下	27.4	63.1	—	—	—
		6/29	8/29	10/5	300	23.6	59.8	2等中	27.3	65.5	—	—	—
		7/6	9/3	10/10	282	23.7	59.8	1等上	27.5	76.5	—	—	—
		7/13	9/7	10/15	298	23.6	60.5	1等上	27.4	58.9	—	—	—

注1) 検査等級は1等上～9等下, 規格外。

2) 平均気温は出穂後20日間の平均気温, 日照時間は出穂後10日間の積算日照時間で, 平均気温は長崎総農林試観測値, 日照時間は長崎海洋気象台観測値。

3) 心白粒, 乳白粒, 背白粒は, 粒厚1.8mm以上の玄米100粒を目視により調査。数値は2反復の平均で粒数比である。

2) 作期移動による品質・収量向上の効果

(1) 作期移動の効果

普通作水稻では高温登熟を回避するためには, 移植時期を遅らせ, 登熟期の気温を低下させることが有効である。長崎県総合農林試験場では2005年から2007年までの3年間, 九州地域の主要品種であるヒノヒカリとにこまるで作期移動試験を実施している。そのデータを基に作期移動の効果について検証した。なお, 2006年は台風13号の影響が大きく解析から除外した。

2005年および2007年は, 夏季の気温が平均よりか

なり高い年であった。ヒノヒカリの登熟期に当たる9月の平均気温は平年と比べ2005年で+2.0℃, 2007年で+2.9℃と非常に高かった。

移植時期の早晩によるヒノヒカリの品質は, 2005年では6月中旬移植が最も悪く, 2007年では6月中旬以前の移植で品質が悪い(第70表)。ヒノヒカリは出穂後の平均気温が26℃を超えると基部未熟粒が多くなり, 27℃以上になると背白米が多発し(船場ら1997), 品質が低下する。2007年では, 5月18日から7月6日移植まで出穂後20日間の平均気温が27℃を超え, 特に5月18日および6月1日移植は28℃を

第71表 つくしろまんとヒノヒカリにおける移植時期別の生育，収量，玄米品質および食味(福岡県農総試)

品種名	移植期	出穂期	成熟期	登熟温度	㎡当たり 粗数	千粒重	玄米重	検査 等級	粒数歩合			玄米タンパク 質含量	食味 評価
									心白粒	乳白粒	背白粒		
	月.日	月.日	月.日	℃	×100	g	kg/a		%	%	%	%	
つくしろまん	5.16	8.3	9.1	27.7	281	23.0	56.3	6.6b	9.2	1.8	21.8	6.2	0.38
	6.1	8.16	9.26	26.7	272	23.5	54.2	5.4ab	15.1	6.7	9.1	6.6	0.34
	6.24	8.23	10.6	26.1	293	23.6	56.8	3.9a	7.1	3.5	4.6	6.4	0.39
ヒノヒカリ	5.16	8.9	9.2	26.9	289	22.1	51.9	3.9b	1.8	1.9	6.9	6.6	-0.05
	6.1	8.23	10.4	26.3	277	23.4	54.5	4.0b	3.3	3.8	3.8	6.6	-0.13
	6.24	8.3	10.12	25.5	293	23.3	56.5	2.1a	1.1	1.1	1.7	6.7	-0.17

注1) 2001～2005年の5カ年平均値。2004年のヒノヒカリの収量，品質は，台風被害による作柄不良のため除外。

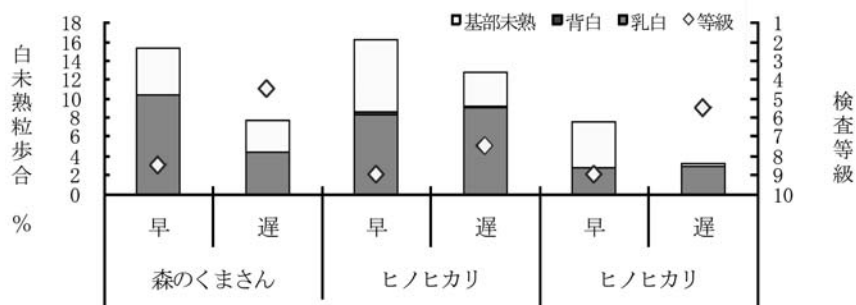
2) 基肥＋穂肥量は5＋1.5kgまたは5＋2＋1kg(Nkg/10a)。

3) 登熟温度は出穂後20日間の平均気温。

4) 食味評価は食味総合値で表し，コシヒカリを基準(0)とした。

5) 検査等級における異なる英字は，品種間にFisher's PLSDにより5%水準で有意差があることを示す。他の項目は有意差があることを示す。他の項目は有意差がなかった。

6) 宮崎・内川・田中・福島(2008)より引用。



第91図 移植時期別中生品種の白未熟粒歩合の比較(熊本県農研セ)

2005年の早は6/9移植，遅は6/30移植，2006年の早は6/19移植，遅は6/28移植。ヒノヒカリの出穂後20日間の平均気温は2005年の早で26.1℃，遅で26.3℃，2006年の早で25.2℃，遅で24.7℃。検査等級は，1(1等上)～9(3等下)の9段階で示した。データは坂梨・井手・三ツ川・上野(2008)から引用。

超え背白粒が多発し品質が大きく低下している。2005年では6月8日移植および6月15日移植で乳白粒の発生が多く品質が低下している。しかし，にこまるは比較的安定した品質であった。2005年は9月6日に台風14号が諫早市に上陸し，強風を受けているが，にこまるの品質は6月8日移植以降すべて1等格付けであり，台風による影響は少なかったといえる。

ヒノヒカリの6月8日移植および6月15日移植の出穂後10日間の日照時間を見るとそれぞれ，35.7時間，45.9時間と日照時間がほかの移植時期と比べ少ない。白未熟粒の発生歩合は出穂後20日間の日平均気温が高いと発生しやすく，また日照不足でも発生を助長する。また，心白粒発生は登熟前半の日照不足が要因としてあげられている(福島ら 2000)。

このことから，2005年は日照不足による影響も大きかったと推察される。

登熟期の高温低日射条件においてヒノヒカリより明らかに品質の良いにこまる(坂井ら2007)の2005年の結果を見ると，8月中旬以降の出穂ではすべて1等格付けであり，2006年は移植時期が遅くなるほど品質が向上している。この結果からも，にこまるは日照不足の影響による品質の低下がヒノヒカリより小さいといえる。そのため，作期移動により高温登熟を回避することができ，ヒノヒカリより品質向上が期待できると推察される。

各県における作期移動による報告では，福岡県において宮崎ら(2008)が，つくしろまんとヒノヒカリを6月24日に遅植えした場合，登熟温度が低くなり，検査等級が向上したと報告している(第71表)。

また熊本県においては、坂梨ら (2008) が、ヒノヒカリや森のくまさんの中生品種の移植時期を6月上旬から6月下旬に移動させることにより白未熟粒が減少するとしている (第91図)。

これらのことから、九州北部地域の平坦部でヒノヒカリでは6月下旬に作期を移動させ、登熟期の気温を低下させることで品質向上を図ることが可能で、近年の高温登熟を回避する有効な手段の一つと考えられる。しかし、高温登熟回避のための遅植えにあっては、ヒノヒカリは登熟期の日照不足の影響を受けやすいことも考慮しておく必要がある。また、船場ら (2008) はヒノヒカリの検査等級は出穂後40日間の平均気温が23℃を下回ると品質が低下していると報告しており、移植時期の設定には注意を払う必要がある。

岩渕ら (2003) は夢つくしの検査等級は平均気温が28℃を超えると乳白粒比率と背白粒比率の著しい増加のため顕著に劣ると報告している。また、豊前地域における夢つくしの最適移植期を6月2半旬としている。

このように、品質低下をもたらす登熟温度の閾値は品種によって異なっており、作期移動により品質の向上を図るためには、品種毎に品質が低下しない登熟の上限温度を把握することが必要である。

引用・参考文献

- 1) 船場貢・西村勝久・泉省吾 (1997) 長崎県下の水稻作期策定に関する研究 第4報 高温登熟に伴う品質の低下. 日作九支報 63: 15-17.
- 2) 福島裕助・許斐健治・石丸知道 (2000) 出穂後の遮光処理が「ヒノヒカリ」の心白粒発生に及ぼす影響. 日作九報 66: 4-6.
- 3) 坂井真・岡本正弘・田村克徳・梶亮太・溝淵律子・平林秀介・深浦壮一・西村実・八木忠之 (2007) 玄米品質に優れる暖地向き良食味水稻

品種「にこまる」の育成について. 育種学研究 9: 67-73.

- 4) 宮崎真行・内川修・田中浩平・福島裕助 (2008) 移植時期が異なる場合の玄米品質と稲体窒素栄養条件. 日作九支報 74: 11-13.
- 5) 坂梨二郎・井手眞一・三ッ川昌洋・上野育夫 (2008) 登熟期の高温による水稻中生種の白未熟粒混入を軽減させる技術. 九州農業研究発表会専門部会発表会要旨集 P. 11.
- 6) 船場貢・泉省吾・田崎信幸・島ノ江智弘・松下哲也・井上眞理 (2008) 長崎県下の水稻作期策定に関する研究 第7報 県北地域における好適移植期および好適出穂期の推定. 九州農業研究発表会専門部会発表会要旨集 P. 14.
- 7) 岩渕哲也・田中浩平・尾形武文・浜地勇次 (2003) 近年の高温化に対応した水稻「夢つくし」の品質向上のための最適移植時期. 福岡県農業総合試験場研究報告 22: 34-37.

3. 北部九州における施肥改善

1) 施肥量, 施肥法の変遷

1990年代後半頃より、米の販売不振や価格低下が問題となり、各地で食味向上の取り組みが強化された。米の食味はタンパク質含有率と相関が高いが、2000年に福岡県の筑後平坦地の現地42か所で生産されたヒノヒカリの玄米のタンパク質含有率と施肥法との関係を調査したところ、穂肥の施用量が多いとタンパク質含有率が高く、特に出穂前10日頃に施用する第2回穂肥の影響が大きいことが明らかとなった (第72表)。また、当時の基準窒素量である10 a 当たり 2 + 1.5kg (合計3.5kg) 以上の穂肥が施用されている事例が多く (データ省略)、食味向上のためには穂肥を過剰に施用しないことが重要と判断された。

さらに、福岡農総試筑後分場の肥沃度の高い圃場

第72表 福岡県の現地における施肥量と玄米タンパク質含有率, 外観品質, 検査等級との相関

	基肥	第1回 穂肥	第2回 穂肥	穂肥 合計
タンパク質	+0.01	+0.22	+0.50**	+0.48**
外観品質	+0.13	+0.38**	+0.35*	+0.46**
検査等級	+0.01	+0.24	+0.19	+0.27

注1) 値は相関係数, *は5%水準, **は1%水準で有意。

2) 田中ら (2002) から引用。

第73表 施肥が水稻の生育、収量、品質に及ぼす影響（福岡県農総試筑後分場）

施肥量	稈長	穂数	倒伏 程度	m ² 当り 粒数	千粒 重	玄米 重	収量比	玄米 タンパク	検査 等級	食味
Nkg/10a	cm	本 / m ²		×100	g	kg / a	%	%		
0 + 0 + 0	79	335	0.2	248	21.7	43.9	(77)	5.9	5.0	+0.19
3 + 2 + 0	87	374	1.2	314	22.4	54.8	(96)	6.5	5.0	+0.07
3 + 2 +1.5	89	376	1.5	318	22.3	56.4	(99)	7.0	5.5	-0.22
5 + 2 + 0	89	381	1.7	321	22.6	55.2	(97)	6.6	4.5	+0.05
5 + 2 +1.5	91	384	1.8	324	22.8	57.1	(100)	7.1	5.5	-0.35

- 注1) 1999年, 2000年の平均値で品種はヒノヒカリ。
 2) 施肥は基肥+穂肥1（出穂前17～18日）+穂肥2（出穂前10～11日）。
 3) 倒伏程度は0（無）～5（甚），検査等級は1等上（1）～3等下（9）で示す。
 4) 食味は標準栽培のコシヒカリを基準とした総合評価。
 5) 田中ら（2002）を改変。

第74表 福岡、佐賀、熊本県における施肥基準の推移（ヒノヒカリ）

福岡県

年次	区分	基肥	中間追肥	穂肥 I kg/10a	穂肥 II	合計
2001年まで		4～6	—	2.0	1.5	7.5～9.5
2002年以降	地力高	4.0	—	2.0	—	6.0
	〃 中	5.0	—	2.0～2.5	—	7.0～7.5
	〃 低	6.0	—	2.0～2.5	—	8.0～8.5

注) 穂肥 I は出穂前20～18日に施用。

佐賀県

年次	区分	基肥	中間追肥	穂肥 I kg/10a	穂肥 II	合計
1998年まで		4.0	2.0	3.0	1.5	10.5
1999年以降	粘土型	4.0	2.0	3.0	—	9.0
	壤土型	6.0	—	3.0	—	9.0

- 注1) 中間追肥は出穂前約50日，穂肥 II は I 施用後 7～10日に施用。
 2) 1996年度にヒノヒカリの目標タンパク質含有率7.0%を設定。
 2000年度に6.8%に変更したことから施肥基準を改訂。

熊本県

年次	基肥	中間追肥	穂肥 I kg/10a	穂肥 II	合計
採用以来の県基準	3～5	—	3.0	1～2	7～10
2001年頃より	3～5	—	3.0	—	6～8

- 注1) 圃場の地力に応じて基肥施肥量を加減する。
 2) 穂肥 I は出穂前20日，穂肥 II は出穂前10日に施用（診断により時期および量を加減）。

において行った施肥試験の結果でも，玄米タンパク質には穂肥量の影響が大きいことが示され，第2回穂肥を省略することでタンパク質が0.5ポイント程度低下し，食味や検査等級が向上した。標肥の5 + 2 + 1.5区に比べて第2回穂肥を省略した5 + 2 + 0区の収量比は97で3%の減収であった（第73表）。

これらの結果や九州管内の各県およびその他の研究機関の検討結果を受けて，各県で施肥基準の見直

しが行われ，1999～2002年頃以降はヒノヒカリの穂肥は原則として出穂前20～18日の1回のみとなり，穂肥窒素の合計量も15%程度削減された。福岡県，佐賀県，熊本県のヒノヒカリの施肥基準の変化を第74表に示した（平坦地普通期 全層施肥栽培：Nkg / 10a）。また，この頃より肥効調節型肥料による1回全量施肥栽培（元肥一発施肥）が増加し，2007年には九州北部および中部地域のヒノヒカリでは約

40%の普及率となり、施肥回数や施肥量の削減が進んだ。

2) 施肥改善による品質・収量向上効果

2003年頃から米の品質や収量が低迷し、2004年以降、福岡県におけるうるち水稻の1等米比率は30%以下の年が続いている。検査等級の低下要因としては台風襲来の影響が最も大きいですが、登熟期の高温による充実不足や乳白粒、心白粒、背白粒等の発生も多く、8月下旬から9月中旬頃の高温が品質低下の大きな要因となっている。年によっては高温に寡照

(日照不足) が加わり、検査等級が大きく低下している。

一方、1回穂肥や全量施肥栽培が急速に普及したことから、品質・収量の低迷には施肥法の変化が悪影響を及ぼしている懸念がある。そこで、高温処理試験や高温登熟条件下で得られた試験結果から、品質や収量に対する施肥法の影響について取りまとめた。

(1) 出穂後に高温処理を行った場合の収量、品質
ヒノヒカリの6月上旬移植において、出穂後20日

第75表 出穂後に高温処理を行った場合の収量、品質 (福岡県農総試)

処理	登熟温度 ℃	第2回穂肥量 Nkg/10a	千粒重 g	玄米重 kg/a	収量比 %	検査等級	白未熟粒				玄米タンパク
							乳白	心白	背白	基白	
無処理	27.1	0	23.0	47.2	(100)	3.3	0.4	1.6	0.3	1.3	6.4
〃	〃	1.5	23.2	52.0	(110)	3.5	1.6	2.5	0.3	0.2	6.7
高温	28.1	0	22.5	42.5	(90)	5.5	4.2	4.3	3.3	3.6	6.9
〃	〃	1.5	22.8	46.3	(98)	5.8	3.3	3.5	1.3	2.1	7.1

注1) ヒノヒカリ, 6月8, 9日移植, 2006, 2007年平均値。

2) 基肥 + 1 回目穂肥量は 5 + 2 (Nkg/10a)。

3) 出穂後20日間、穂部以上をビニルで被覆して高温処理を行った (透過率90~95%)。

4) 検査等級は1等上~規格外を1~10で示した。

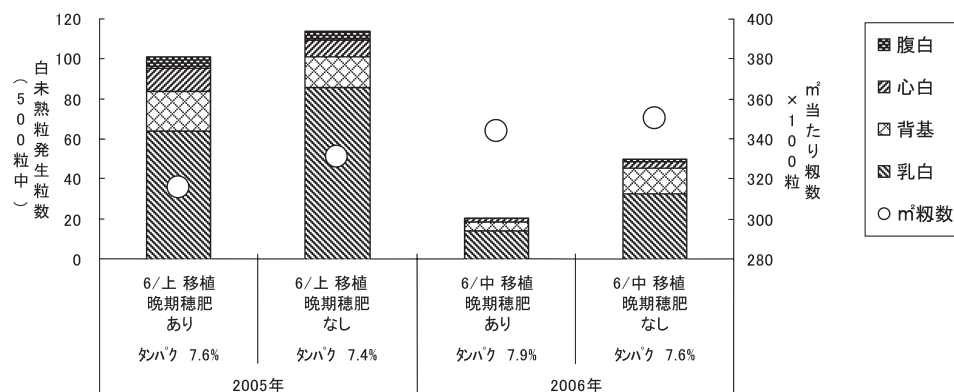
第76表 施肥や稲体窒素と外観品質 (福岡県農総試)

施肥法	穂肥の種類	窒素吸収量			穂揃期		千粒重	玄米重	検査等級	玄米タンパク
		幼形期	幼~穂	穂揃期	N %	SPAD				
Nkg/10a			Nkg/10a		%		g	kg/a		%
5 + 0 + 0	なし	7.8	1.1	8.9	0.88a	29.2a	22.2a	36.9a	3.8b	6.2a
5 + 2 + 0	速効性	〃	2.0	9.8	0.94a	31.4b	22.7ab	41.3b	3.3ab	6.3ab
5 + 2 + 1.5	〃	〃	3.3	11.1	1.04b	33.5c	22.9b	44.4c	3.2ab	6.9c
5 + 3 + 0	速効+緩効	〃	3.6	11.4	1.09b	32.6bc	22.6ab	45.7c	2.8a	6.5b

注1) ヒノヒカリ, 2004~2006年の3か年平均。移植期は6月16~17日。登熟温度は24.7~26.4℃。

2) 穂肥の速効+緩効は、速効性窒素50%と緩効性窒素 (LP30) 50%の配合肥料。

3) 窒素吸収量の幼~穂は、幼穂形成期から穂揃期の期間の吸収量。



第92図 6月上旬移植ヒノヒカリにおける晩期穂肥の有無と白未熟粒の発生 (熊本県農研セ)
窒素施用量 (Nkg/a) は、基肥0.5-穂肥0.3-晩期穂肥0.2。
玄米タンパクは水分15%時の含有率で示した。

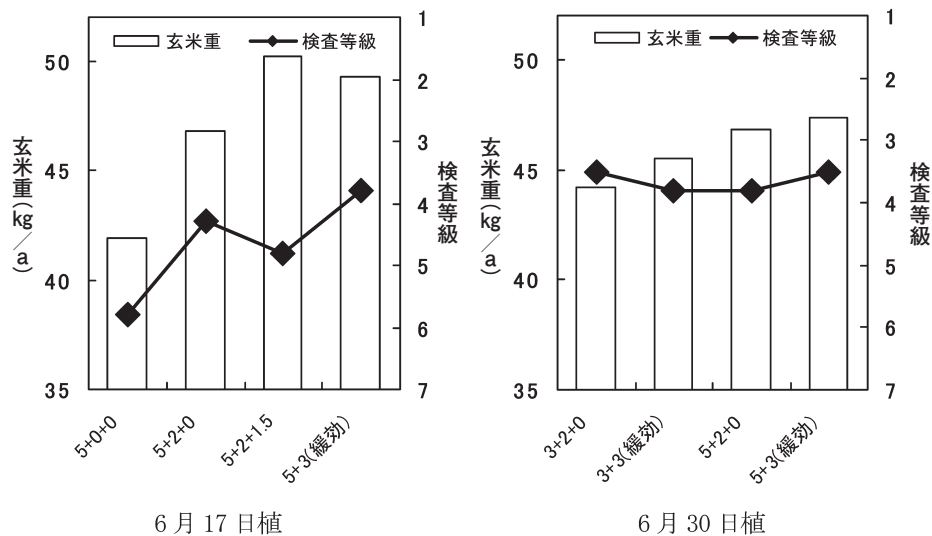
間、穂部以上をビニルで被覆して高温処理を行うと収量、検査等級が低下し、白未熟粒や玄米タンパク質が増加した。第2回穂肥を施用すると収量が9～10%向上し高温処理区では白未熟粒が減少したが、検査等級は同程度であった。タンパク質含有率は0.2～0.3ポイント高くなった（第75表）。

（2）穂肥施用法と品質

ヒノヒカリの6月中旬移植において、穂肥を施肥しない場合には、収量、検査等級ともに低下した。

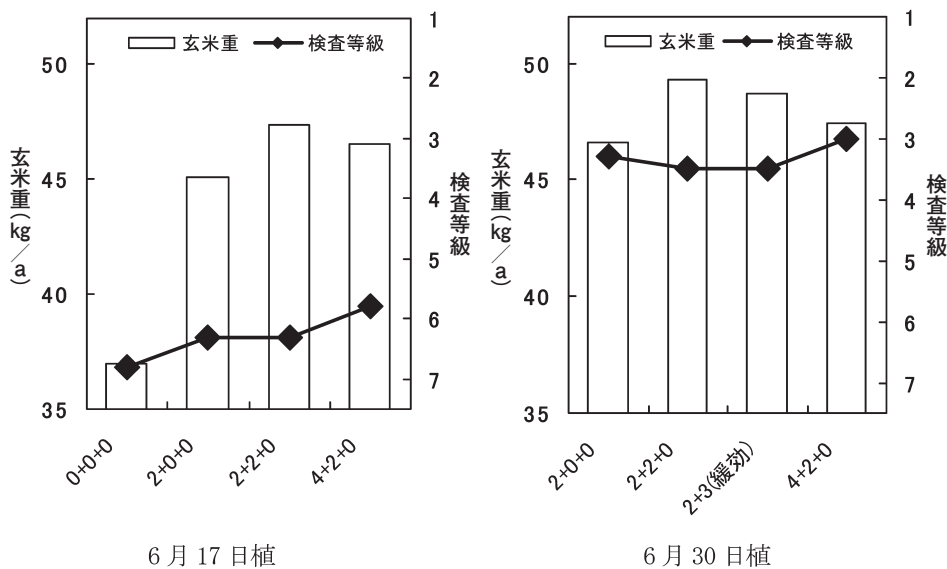
穂肥を2回施用すると、収量が向上し検査等級がやや向上したが、玄米タンパク質含有率が高まった。短期溶出型窒素を50%含む緩効性肥料を穂肥として1回施用すると、収量、検査等級ともに向上し、玄米タンパク質含有率は増加しなかった（第76表）。

ヒノヒカリの6月上中旬移植において、a当たり窒素施肥量で基肥0.5kg・穂肥0.3kg(出穂約20日前)の施肥体系で穂肥Ⅱ（出穂約10日前）0.2kgを加用すると白未熟粒の発生が抑えられた（第92図）。



第93図 地力中庸な圃場における施肥法と収量、品質との関係（福岡県農総試, 2004, 2005年平均値, つくしろまん）

5 + 0 + 0等は基肥+穂肥Ⅰ+穂肥Ⅱの10a当たり窒素施肥量（Nkg）を示す。5 + 3（緩効）は穂肥Ⅰに速効性窒素50%と緩効性窒素（LP30）50%の配合肥料を施用。検査等級は1等上～3等上を1～7で示す。第94図も同様。



第94図 肥沃な圃場における施肥法と収量、品質との関係（福岡県農総試, 2004, 2005年平均値, つくしろまん）

(3) 圃場の地力や移植期、施肥法と品質

高温で外観品質が低下しやすいつくしろまんを地力中庸な圃場で栽培した場合、移植期を6月17日から30日に遅らせると検査等級が向上した。6月17日植では無穂肥の5 + 0 + 0区は収量、検査等級が劣った。穂肥に肥効調節型肥料（LP30を50%配合）を施用すると検査等級が向上した（第93図）。肥沃な圃場で栽培した場合においても、移植期を6月17日から30日に遅らせると検査等級が向上した。6月17日植では地力中庸な圃場に比較して、全般的に検査等級が劣ったが、4 + 2 + 0区では検査等級がやや向上した（第94図）。

これらの結果から、施肥による品質向上効果は比較的小さく、移植期の効果が大きいことから、移植期や圃場の肥沃度を考慮して施肥改善を図ることが重要と考えられた。2回穂肥により白未熟粒が減少した事例（第75表）が認められたが、検査等級は1回穂肥と同等（第76表）かやや劣る事例（第73表）もあり、必ずしも2回穂肥の品質向上効果は認められなかった。しかし、1回穂肥は2回穂肥に比較して7～10%の減収となり、以前の結果（田中ら2002）よりも減収率が高かったことから、高温条件における穂肥施用や肥効調節型肥料の利用についてさらに検討を行う必要がある。

参考文献

- 1) 田中浩平・久保田孝・川村富輝（2002）水稻品種「ヒノヒカリ」の食味向上のための穂肥施用法. 九州農業研究 64: 4.
- 2) 福岡農総試. 「ヒノヒカリ」の登熟期高温による品質低下とその対策. 平成18年度 九州沖縄農業試験研究成果情報.
- 3) 熊本県農研センター. 中生品種の高温条件化での白未熟粒の発生抑制. 平成18年度 九州沖縄農業試験研究成果情報.

4. 南九州における施肥改善～背白粒に着目して～ 1) はじめに

近年、九州では1等米比率が低下しており、その要因として登熟期における台風や日照不足の影響と考えられる乳白粒・心白粒の発生の他、高温および早期落水による充実不足粒の増加が指摘されている（寺島ら 2001）。南九州においても、2等以下格付

の理由として充実不足が増えており、高温年においては、これまで発生がみられなかった普通期栽培で背白粒や基部未熟粒が増える傾向にあり、外観品質の低下の要因として問題となっている。背白粒については、出穂後20日間の平均気温（登熟温度）27℃以上の高温条件で発生し、それ以下の温度ではほとんど発生が認められないこと、また、発生には品種間差異が認められることが明らかとなっている（若松ら 2007）。一方、玄米外観品質低下の要因としては、1990年代以降の食味重視傾向による窒素施肥量の低下が関与していることが指摘されている（寺島ら 2001, 近藤 2007）。特に、南九州ではヒノヒカリが倒伏に弱い品種であり、地理的に台風被害を受けやすいことから、施肥レベルが全国の中でも低位にある。背白粒の発生と窒素施肥量との関係については、安庭ら（1979）、中川ら（2005）が穂揃期の窒素追肥によって背白粒発生を抑制することを報告している。しかし、窒素施肥量を違えた場合での玄米窒素量と背白粒との関係については報告が少ない。ここでは主に、高温下で窒素施肥量を変えることによる背白粒発生と玄米窒素量との関係について、品種間差異を含めて検討を行い、今後の栽培対策について述べたい。

2) 窒素施肥量が玄米窒素量および背白粒発生割合に及ぼす影響

窒素施肥量が玄米タンパク質含有率（玄米窒素量）および背白粒発生割合に及ぼす影響について検討した結果、窒素施肥量が多くなるにしたがい、穂揃期のSPAD値および玄米タンパク質含有率が高くなり、背白粒の発生割合が減少した（第77表）。穂揃期のSPAD値と玄米タンパク質含有率との間に高い正の相関関係（第95図）がみられ、玄米タンパク質含有率と背白粒発生割合との間に高い負の相関関係が認められた（第96図）。また、登熟温度28℃以下においては、玄米タンパク質含有率がほぼ6.0%を下回ると背白粒の発生割合が増加し、コシヒカリに比べてイクヒカリで顕著であった（第96図）。この品種間差の要因として、高温耐性の違いが考えられた。イクヒカリの玄米タンパク質含有率はコシヒカリより明らかに低い値を示すが、両品種とも穂揃期のSPAD値と玄米タンパク質含有率との間には有意な正の相関が認められ（第95図）、コシヒカリはSPAD値が28以下で、イクヒカリは

第77表 窒素施肥法が収量関連形質および背白粒発生割合に及ぼす影響（鹿児島県農総セ）

試験区		玄米重	穂数	一穂 粒数	登熟 歩合	玄米 千粒重	背白粒 発生割合	玄米 外観品質 1～9	タンパク質 含有率
品種名	施肥法	kg/10a	本/m ²	粒	%	g	%		%
イクヒカリ	3 + 2	567c	399	75.9c	75.6a	22.4a	17.3c	4.5b	5.7bc
	3 + 0	460e	345	69.1d	77.6a	21.7ab	40.2a	6.5a	5.4d
	5 + 2	592b	425	79.8b	70.5b	21.6ab	10.6d	4.0b	5.7c
	5 + 0	508d	392	71.7d	79.1a	21.8ab	31.8b	6.0a	5.5cd
	7 + 2	640a	517	84.7a	64.1c	21.7ab	8.8d	4.0b	6.1a
	7 + 0	623a	430	84.1ab	69.7b	20.9b	12.6cd	4.5b	5.9b
	有意差検定	**	n.s.	**	**	**	**	**	**
コシヒカリ	3 + 2	544b	430bc	68.2b	73.3b	20.6a	5.1ab	3.0b	6.6b
	3 + 0	479c	400c	63.7c	78.3a	20.4b	9.2a	4.0a	6.0c
	5 + 2	603a	516a	72.2a	68.5c	20.5a	0.0b	4.5a	6.8a
	5 + 0	531b	441b	64.6c	73.7b	20.5a	7.9a	4.5a	6.0c
	有意差検定	**	**	**	**	**	**	**	**
	(7 + 2)	(657)	(558)	(56.4)	(67.5)	(20.4)	(0.0)	(5.0)	(6.3)
	(7 + 0)	(574)	(504)	(64.8)	(72.3)	(22.8)	(5.4)	(5.0)	(6.2)

注1) データは2004～2005年の平均値。ただし()内は2005年の測定値。

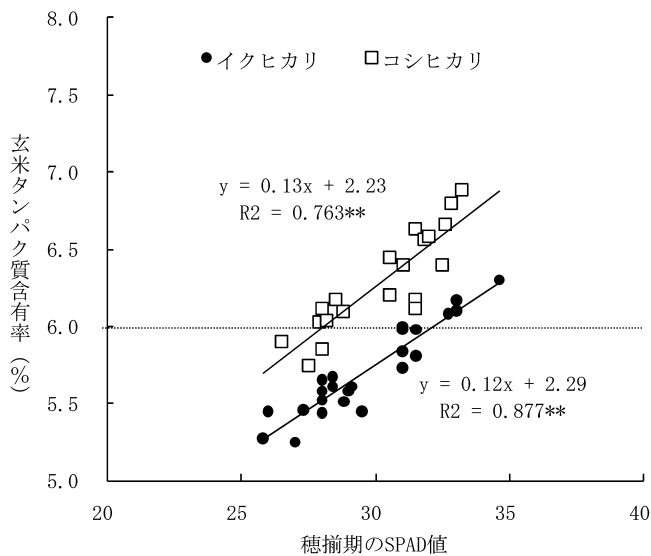
2) 施肥法の3 + 2は、窒素施肥量で基肥0.3kg/aと穂肥0.2kg/aを施用したことを示す（以下同様）。

3) 玄米外観品質は1（上上）～9（下下）の9段階評価。

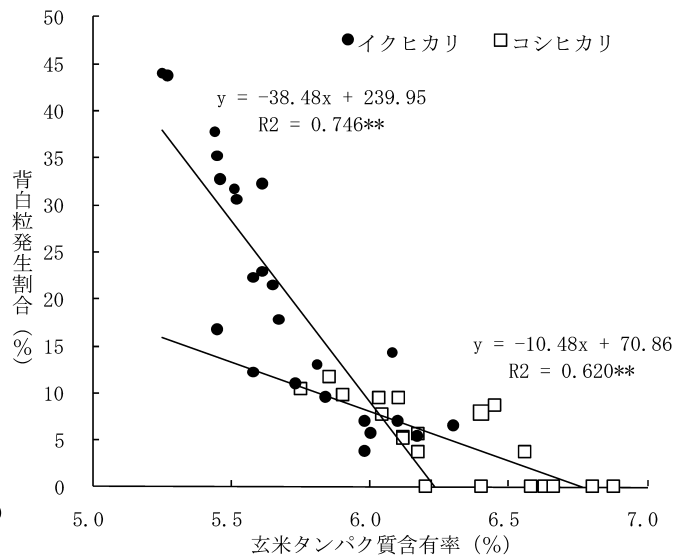
4) 出穂期は2004年：6月21～23日、2005年：6月28～29日。

5) **は1%水準で有意差があることを、n.s.は有意差がないことを示す。

6) 同じ英小文字間には Tukey の多重検定で有意差がないことを示す。



第95図 穂揃期の SPAD 値と玄米タンパク質含有率との関係（鹿児島県農総セ，2004～2005年）



第96図 玄米タンパク質含有率と背白粒発生割合との関係（鹿児島県農総セ，2004～2005年）
登熟温度は2004年：26.7～27.0℃，2005年：27.4℃。

SPAD 値が32以下でそれぞれ玄米タンパク質含有率 6.0%を下回ることが認められた。これらの結果から、穂揃期の葉色を高めることが玄米タンパク質含有率向上を促し、さらには背白粒発生の抑制につながることを示唆された。このように高温登熟条件下で背白粒の発生を抑制するには、穂揃期以降の葉色を一定レベル以上に維持する必要があると考えられ

た。一方で、食味については玄米タンパク質含有率 7.0%を超えると食味が低下することから（若松ら 2004），玄米の外観品質と食味の両立を考慮した場合での玄米タンパク質含有率の目標値は、登熟温度 28℃以下では6.0～7.0%の間が望ましいと考えられた。

3) 登熟温度と窒素施肥量の違いが背白粒の発生に及ぼす影響

移植時期と窒素施肥量の違いが背白粒発生割合に

及ぼす影響についてヒノヒカリを用いて検討した結果、基肥、穂肥のいずれも統計的に有意な関係が認められたが、最も寄与率が大きかったのは移植時期

第78表 背白粒発生割合の分散分析表 (鹿児島県農総セ, 2006年)

要因	自由度	平方和	平均平方	F 値	p 値	寄与率%
移植期	3	23820.1	7940.0	288.2	<.0001**	79.0
基肥	1	203.4	203.4	7.4	0.0105**	0.6
穂肥	2	3248.1	1624.0	59.0	<.0001**	10.6
ブロック	1	6.9	6.9	0.3	0.620	0.0
移植期 × 穂肥	6	1458.3	243.0	8.8	<.0001**	4.3
基肥 × 穂肥	2	428.0	214.0	7.8	0.002**	1.2
誤差	32	881.6	27.6			4.3
全体	47	30046.3				100.0

注) **は1%水準で有意であることを示す。

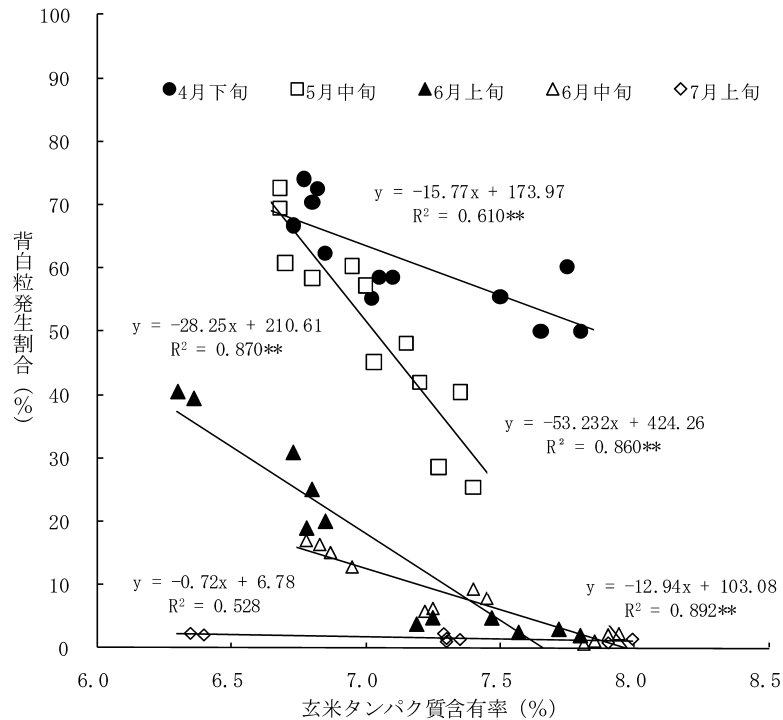
第79表 移植時期と窒素施肥量が背白粒発生割合に及ぼす影響 (鹿児島県農総セ, 2006年)

移植時期 月日	基肥量 Ng/m ²	追肥量 Ng/m ²	出穂期 月日	成熟期 月日	出穂後20日間 日平均気温 ℃	出穂後20日間 平均日射量 MJ/m ² /日	背白粒 発生割合 %
4月25日	4	0	7月22日	8月29日	28.7	21.6	73.3±1.1
	4	2					64.5±3.1
	4	2+2					52.7±3.8
	5	0					56.9±2.3
	5	2					64.5±8.4
	5	2+2					55.1±7.2
5月19日	4	0	8月7日	9月15日	28.6	18.1	65.1±6.1
	4	2					65.5±8.7
	4	2+2					27.0±2.2
	5	0					46.6±2.1
	5	2					58.8±2.2
	5	2+2					41.2±1.1
6月7日	4	0	8月17日	9月25日	27.9	16.7	39.9±0.8
	4	2					19.5±0.8
	4	2+2					4.3±0.7
	5	0					31.7±1.2
	5	2					3.6±1.6
	5	2+2					2.5±0.7
6月20日	4	0	8月22日	10月2日	27.5	14.9	13.9±1.6
	4	2					8.5±1.0
	4	2+2					0.8±0.4
	5	0					16.7±0.4
	5	2					6.0±0.3
	5	2+2					2.1±0.1
7月4日	4	0	9月2日	10月12日	26.2	10.4	2.2±0.2
	4	2					1.2±0.2
	5	0					1.9±0.6
	5	2					1.1±0.4

注1) 背白粒発生割合の数値は平均値 ± 標準偏差を示す。

2) 品種はヒノヒカリ。

3) 追肥量の2+2は、出穂20日前に2 g/m²、出穂10日前に2 g/m²の2回追肥を示す。



第97図 玄米タンパク質含有率と背白粒発生割合との関係（鹿児島県農総セ，2006年）
品種はヒノヒカリ。

であった（第78表）。このことは、移植時期が早まるほど登熟温度が高くなり、背白粒発生割合が増加することを示す。登熟温度については、4月下旬植が28.7℃、5月中旬植が28.6℃、6月上旬植27.9℃、6月下旬植が27.5℃、7月上旬植が26.2℃となり、7月植においては背白粒はほとんど発生がなく、6月下旬植より早い移植時期においては登熟温度が27℃以上となり背白粒の発生が認められ、特に28℃以上となる4月下旬植、5月中旬植で多発した（第79表）。背白粒発生割合と玄米タンパク質含有率の関係については、7月植を除いたいずれの移植時期においても両者の間に有意な負の相関関係が認められ（第97図）、玄米タンパク質含有率が高いほど背白粒発生割合が低くなったことから、窒素施肥量増加に

より背白粒発生が抑制されたものと考えられる。一方で、登熟温度が28℃以上となる4月下旬植、5月中旬植においては、玄米タンパク質含有率7%においても背白粒の発生が多くみられたことから、登熟温度が28℃以上の高温条件下では玄米の外観品質と食味を両立させる玄米タンパク質含有率の目標値の設定が困難であると考えられた。

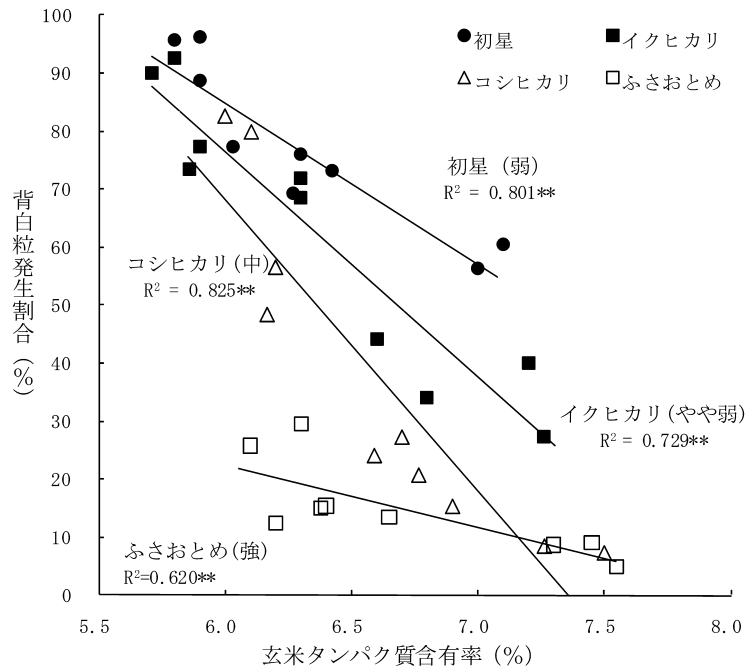
4) 窒素追肥量が背白粒の発生に及ぼす影響の品種間差異

これまで登熟期の高温が玄米品質に及ぼす影響については品種間差異があることが、長戸・江幡（1965）、岩下ら（1973）、西村ら（2000）、若松ら（2007）により報告されている。高温登熟条件下における窒素施肥量の違いが背白粒発生割合に及ぼす

第80表 背白粒発生割合の分散分析表（鹿児島県農総セ，2006年）

要因	自由度	平方和	平均平方	F 値	p 値	寄与率%
品種	3	22941.6	7647.2	616.1	<.0001**	61.4
窒素施用量	4	11144.0	2786.0	224.4	<.0001**	29.7
ブロック	1	64.0	64.0	5.2	0.035*	0.1
品種 × 窒素量	12	2918.9	243.2	19.6	<.0001**	7.4
誤差	19	235.9	12.4			1.3
全体	39	37304.4				100.0

注) *は5%，**は1%水準で有意であることを示す。



第98図 品種別にみた玄米タンパク質含有率と背白粒発生割合との関係（鹿児島県農総セ，2006年）
出穂期は7月16～18日。登熟温度は28.4℃。

影響について品種間差異を検討した結果、窒素施肥量による差は統計的に有意であったが、最も寄与率が大きかったのは品種の違いであった（第80表）。背白粒発生割合に品種間差異がみられ、初星＞イクヒカリ＞コシヒカリ＞ふさおとめの順で発生が多く、窒素施肥量が多くなると玄米タンパク質含有率が高くなり、背白粒発生割合が低下することが認められた。しかし、高温条件下（登熟温度28.4℃）における玄米タンパク質含有率の変化に伴う背白粒の発生割合の低下傾向は品種間で異なり、ふさおとめは、コシヒカリとイクヒカリに比べて背白粒発生割合の変動が小さかった（第98図）。また、高温耐性「弱」品種である初星は、窒素施肥量を増加して玄米タンパク質含有率が7%を超えても背白粒の発生割合が50%以下にならないことが認められ、「弱」品種では玄米の外観品質と食味を両立させる玄米タンパク質含有率の目標値の設定が困難であると考えられた。「やや弱」品種についても玄米タンパク質含有率が7%以上になっても登熟温度が高い場合は背白米発生割合は30%前後にしか低下しない。「中」品種のコシヒカリにおいては、窒素施肥量の増加に伴い、背白粒の減少が大きく、玄米タンパク質含有率7%以下で高品質化が可能であると考えられた。

「強」品種ふさおとめは、いずれの施肥条件でも他の品種に比べて背白粒発生割合が明らかに低かった。これらのことから、28℃を超える高温条件下では品種を問わずに窒素施肥量の増加のみで背白粒の軽減を図ることは困難と考えられ、高温耐性「中」以上の強い品種の導入とともに、その品種に応じた適正施肥量の検討が必要である。

5) 暖地水稻における品質低下軽減のための窒素施肥法

暖地では、地理的に台風被害を受けやすく、さらに主要品種コシヒカリ、ヒノヒカリが倒伏に弱いため、基肥レベルが全国の中でも低位にあり、籾数確保が不安定で収量性が低い状況にある。また、近年、食味重視の観点から、穂肥量についても減らす傾向にあり、以前に比べて総窒素施用量が大きく減少している。このことが、高温条件下での背白粒の発生を助長していると考えられる。今回、窒素施肥量を多くすることにより、穂揃期の葉色を高めることが玄米タンパク質含有率の増加を促し、さらには背白粒発生の抑制につながることを示唆された。今後、品質低下軽減対策として、窒素施肥量増加が有効であると考えられる。近年、耐倒伏性の強い良食味品種が育成されており、品種特性を考慮した適正な範

圃で基肥を増肥して茎数を確保し、1穂粒数を制限し、籾の充実を促進することが生産の安定面から重要である。さらに、玄米タンパク質含有率7.0%以上を避けながら、高品質化を図る観点から、穂揃期以降も一定以上の葉色を維持していく必要がある。そのためには、施肥法として穂肥の少量分施が理想であるが、高齢化などの労力面の課題もあるため、今後は肥効調節型肥料の穂肥への利用検討も必要である。

引用文献

- 1) 岩下友記・新屋明・山川恵久・土井修・上原裕美・鳥山国土（1973）水稻の高温登熟について－品質の変化と品種間差異－. 日作九支報 **39**：48-57.
- 2) 近藤始彦（2007）コメの品質，食味向上のための窒素管理技術－水稻の高温登熟障害軽減のための栽培技術開発の現状と課題－. 農及園 **82**：31-34.
- 3) 長戸一男・江幡守衛（1965）登熟期の高温が穎花の発育ならびに米質に及ぼす影響. 日作紀 **34**：59-66.
- 4) 中川博視・井田智也・田中大克・田野信博・永島秀樹（2005）穂揃期の葉身・穂切除および窒素施肥がイネの各種白未熟粒の発生に及ぼす影響. 日作紀 **74**（別2）：6-7.
- 5) 西村実・梶亮太・小川紹文（2000）水稻の玄米品質に関する登熟期高温ストレス耐性の品種間差異. 育種学研究 **2**：17-22.
- 6) 寺島一男・斉藤祐幸・酒井長雄・渡部富雄・尾形武文・秋田重誠（2001）1999年の夏期高温が水稻の登熟と米品質に及ぼした影響. 日作紀 **70**：449-458.
- 7) 若松謙一・田之頭拓・重水剛・竹牟禮穰（2004）鹿児島県早期栽培コシヒカリの収量構成要素および食味に及ぼす栽植密度の影響. 日作九支報 **70**：7-9.
- 8) 若松謙一・佐々木修・上藺一郎・田中明男（2007）暖地水稻の登熟期間の高温が玄米品質に及ぼす影響. 日作紀 **76**：71-78.
- 9) 安庭誠・湯田保彦・江畑正之（1979）西南暖地における早期水稻の品質に関する研究. 第5報 穂揃期窒素追肥が背白粒の発現に及ぼす影響.

日作紀 **48**（別2）：55-56.

5. 地力改善

近年の高温による暖地水稻の収量や品質の低下に対し、地力の影響を明らかにすることを目的とした調査研究は少なく未解明の点が多い。ここでは地力の変化について各種資料を基に把握するとともに、近年実施された試験データの中から有機物施用などによる地力改善と水稻の生育や収量、品質との関係を整理した。

1) 地力の変化

地力を高めるためには、有機物資材や土壌改良資材の投入が欠かせない。しかし、福岡農総試（1999）の調査によると、近年の農産物価格の低迷や高齢化などにより、堆厩肥やケイ酸資材の平均施用量や施用農家割合は低下している。また、作物を健全に育てるには作土層の確保が重要な要点の一つであり、作土深は改善方向であるが、目標値（15cm）未満の水田圃場が全調査圃場（福岡）の76%と依然として多い。

土壌保全対策事業の一環として1979年より5年毎に行われている土壌環境基礎調査について宮崎県内の結果をまとめた福田ら（2005）の報告を見ると、土壌の物理性、化学性の変化は緩やかで比較的安定していたが、土壌中の可給態窒素が減少傾向を示しており、良食味指向による有機物を含めた窒素施用量の減少が影響していると考察している。

また最近では、水田転作が強化され、水田の作付面積の3～4割に大豆が作付られ、北部九州などでは水稻－麦－大豆－麦の2年輪作体系が増加している。このため、水田が畑状態になることが増えるとともに、地域によっては水利上の理由から長期間の畑状態になる場合もある。このような畑期間の長期化に伴って、土壌の地力減退も心配される。実際に、福岡農総試（2007）の調査によると、大豆の作付け回数が多い圃場では、土壌の理化学性が劣り、容積重が重く、孔隙率が低下し、全窒素、全炭素および可給態窒素量が低い傾向にあった。

2) 地力改善による品質・収量向上効果

地力改善による水稻の品質や収量向上について検討した事例は少ないが、次の事例が挙げられる。

佐賀県では有機物連用試験を行っており、福田ら（1996）の調査によると、有機物連用により、土壌

第81表 有機物連用による玄米品質の違い (九州沖縄農研)

年次	検査等級				登熟条件		備考
	有機物 無施用	稲わら 連用 (1 t/10a)	稲わら 堆肥 連用 (2 t/10a)	麦わら 連用 (0.6 t/10a)	平均 気温 (℃)	日照 時間 (h/日)	
2001	5.0	3.0	3.0	5.0	25.1	7.0	
2002	4.0	5.0	4.0	4.0	27.1	7.3	高温
2003	3.0	2.0	2.0	3.0	27.4	7.0	高温
2004	10.0	8.5	7.5	9.5	26.1	5.0	台風
2005	5.5	4.0	3.0	4.5	26.3	6.8	高温
2006	4.5	5.0	5.5	5.5	25.1	5.7	台風
2007	5.5	5.0	4.0	4.5	27.0	6.9	高温
平均	5.4	4.6	4.1	5.1	26.3	6.5	

注1) 検査等級は、1等上－規格外を1－10で示した。

2) 平均気温と日照時間は、それぞれ8/26－9/15と8/26－10/1の平均値(平年値(1970－2000年)はそれぞれ25.9℃と5.8時間/日)。

の全窒素や全炭素は増加し、物理性の改善(孔隙の増加)も認められた。水稻レイホウとヒノヒカリの収量は、化学肥料区より多収傾向で、特に異常気象(低温日照不足)年次の効果が高かったことを認めている。また、九州沖縄の基準点調査の結果を取りまとめた山田ら(1996)は、有機物施用により水稻の収量が1～10%増収することを明らかにした。また、総合改善区(有機物+ケイカル施用)で、低温寡照多雨年で平年より増収効果が高い場合が多かったことを報告している。

また、九州沖縄農研(2007)では、有機物連用圃場の収量や品質について、近年の高温との関係で検討した。その結果、稲わら堆肥などの有機物連用区では高温年でも収量が高かった。さらに、品質についても、有機物連用区では有機物無施用区に比べて、10段階のうち1段階程度ほぼ安定的に高かった(第81表)。

3) 有機物施用と施肥との関係(減肥効果)

堆肥等の有機物を長期間施用すると、窒素やリン酸など肥料養分が土壤に付加され、化成肥料などを慣行通り施肥すると、生育が旺盛になりすぎて収量や品質が不安定になるばかりでなく、肥料成分の集積溶脱など環境への負荷も大きくなる。施肥の場合には、有機物の肥料成分を評価して減らす必要があり、九州各県でも堆肥等各種有機物を施用した場合の減肥方法について、生育への影響が大きい窒素成分を中心に検討されている。

その結果を簡単に紹介すると、大分農技セ

(2003)では稲わら堆肥などの有機物連用圃場での可給態窒素量に応じたヒノヒカリの減肥率を、収量や籾の窒素量から明らかにした。長崎農林試(2003)では、水稻ヒノヒカリの生育・収量が同等となる牛ふんたい肥施用量に応じた化学肥料の減肥率を明らかにした。さらに福岡農総試(1998)では、化学肥料を全量有機物(発酵鶏ふんと菜種油粕)で代替するヒノヒカリの無化学肥料栽培技術を明らかにし、畜産の盛んな宮崎総農試(2005)では、化学肥料の全窒素の75%を鶏ふん堆肥とするヒノヒカリの減化学肥料栽培技術を収量と玄米タンパク含量より明らかにした。鹿児島農試(1999)では採卵鶏ふん堆肥、豚ふん堆肥および牛ふん堆肥を普通期水稻に5年間連用し、採卵鶏ふん堆肥では1年目から、豚ふん堆肥では2年目から、牛ふん堆肥では3年目から窒素肥効が安定してくることを明らかにした。

以上、近年の地力の変化と地力改善による暖地水稻の品質・収量の向上効果および有機物施用による減肥効果について紹介したが、収量や品質向上に対する有機物の効果を明らかにするには、さらに多くの事例が求められる。同様に、有機物連用試験など息の長い研究を地道に続けて事例を重ねることが望まれる。

引用文献

- 1) 福田 敬・大塚 紀夫・山田 幸正・田中 茂雄
(1996) 有機物連用が異常気象条件下の水稻収量の安定性と土壤に及ぼす効果. 九農研 58.

- 2) 福田武美・上田重英・横山明敏・赤木康・佐々木智弘 (2005) 宮崎県内における農耕地土壌の経年変化. 九農研 67.
- 3) 山田一郎・久保寺秀夫 (1998) 有機物施用が作物収量と土壌に及ぼす影響 ―九州・沖縄地域基準点調査とりまとめから― 九農研 60.
- 4) 福岡農総試・化学部・作物栄養研究室 (1998) 発酵鶏ふんと菜種油粕を利用した水稻「ヒノヒカリ」の全量有機物施肥法 平成10年九州沖縄農業研究成果情報.
- 5) 福岡農総試・化学部・土壌管理研究室 (1999) 福岡県の水田土壌における理化学性の経年変化. 平成11年九州沖縄農業研究成果情報.
- 6) 福岡農総試・筑後分場・水田高度利用チーム (2007) 大豆作付け回数が増えると、土壌の理化学性が悪化し、大豆の収量が低下する. 平成19年九州沖縄農業研究成果情報.
- 7) 鹿児島農試・土壌肥料部 (1999) 水稻に対する家畜ふん堆肥の連用と窒素肥効. 平成11年九州沖縄農業研究成果情報.
- 8) 九州沖縄農研・暖地温暖化研究チーム (2007) 稲わら連用による暖地水稻の増収効果は高温年でも高い. 平成19年九州沖縄農業研究成果情報.
- 9) 宮崎総農試・作物部・栽培科 (2005) 鶏糞たい肥の適正施用による普通期水稻「ヒノヒカリ」の安定栽培技術. 平成17年九州沖縄農業研究成果情報.
- 10) 長崎農林試・環境部・土壌肥料科 (2003) 水稻栽培における牛ふん堆肥施用量と化学肥料の減肥率 平成15年九州沖縄農業研究成果情報.
- 11) 大分農技セ・化学部 (2003) 地力の異なる水田土壌での水稻に対する窒素施肥法 平成15年九州沖縄農業研究成果情報.

6. 水管理

1) 水管理の最近の動向

熊本県内の平坦地（熊本，玉名，上益城），高冷地（阿蘇），球磨（球磨）の土地改良区への聞き取り調査により，1955年頃から現在までの落水時期（暦日）の推移を第82表に示した。また，各年代における主力品種の推移を第83表に示した。

以下，1989年から現在までの落水時期の推移につ

第82表 熊本県内の各地域における落水時期の変遷

地域	土地改良区	1955～ 玉名は1965～	1975～	1989～	1998～	現在	対象面積 (ha)
熊本： 熊本平野	天明	10/15	10/13	10/12	10/10	10/10	1,200
玉名：(注1) 玉名平野	玉名	右10/13 左10/10	10/1	10/8	10/23 9/26より 減量送水	10/17 9/26より 減量送水	3,964
上益城： 御船町	御船中央	—	10/10	10/5	9/29	9/30	349
球磨：(注2) 上球磨～中球磨地区	幸野溝	9/30	9/30	9/30	9/30	9/30	1,900
阿蘇： 阿蘇谷地区	阿蘇	9/20	9/20	8/31	8/31	8/31	2,443

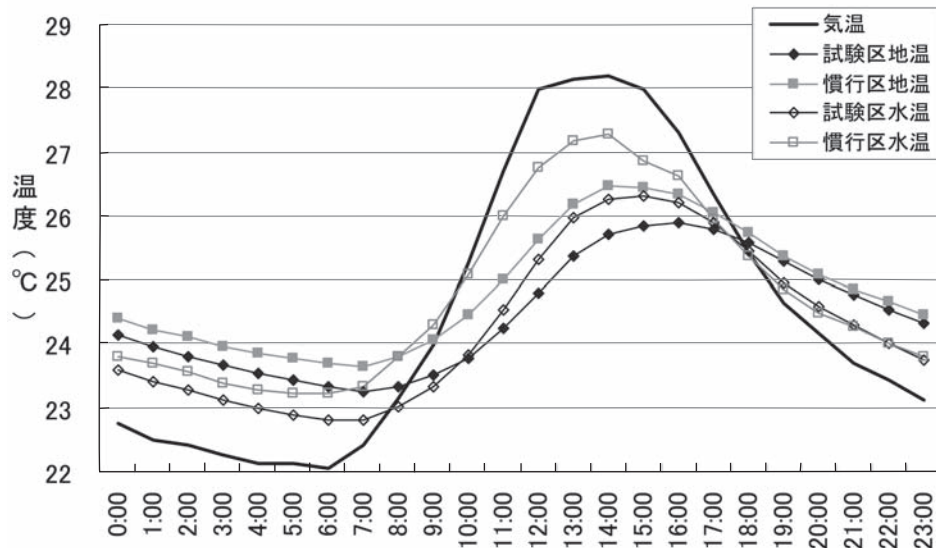
注1) 1998年頃から品種の多様化に応じて，落水時期を2段階（減量送水，送水停止）とした。

玉名平野の右岸，左岸で時期が数日ずれている。

2) 1980年頃のコシヒカリ導入以降，送水が早まった。

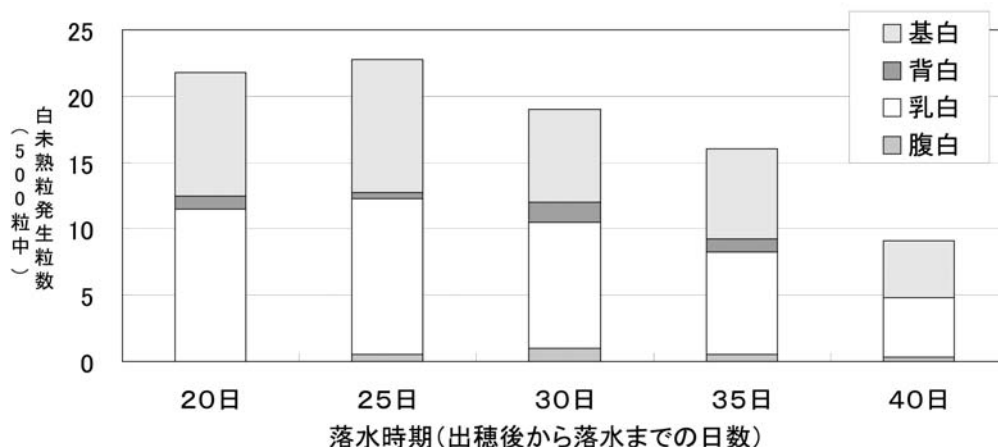
第83表 主力品種の推移（熊本県）

	1955～	1975～	1989～	1998～	現在
(平坦・山麓準平坦)	ホウヨク アリアケ	トヨタマ ミナミニシキ	シンレイ ミナミニシキ	ヒノヒカリ ユメヒカリ	ヒノヒカリ 森のくまさん
(球磨)	アリアケ 農林18号	ミナミニシキ 日本晴	ミネアサヒ 黄金晴	ヒノヒカリ コシヒカリ	ヒノヒカリ —
(高冷地)	ヤエホ 黄金晴	日本晴 —	日本晴 ミネアサヒ	コシヒカリ ミネアサヒ	コシヒカリ あきげしき



第99図 24時間掛流し灌漑試験における温度の推移（球磨農業改良普及センター，2004年：14日間平均値）

試験条件：球磨郡多良木町30aほ場 6月19日稚苗移植，出穂期は8月24日。試験区：24時間連続用水掛け流し（期間：8月29日～9月17日）。慣行区：農家慣行による水管理（間断灌水）。温度計測はThermo Recorder TR-52（おんどりJR）を用い，地温（地中5cm）水温（地表面温）を計測した。気温については最近隣のアメダス地点（あさぎり町上）のデータを用いた。



第100図 落水時期が品質に及ぼす影響（熊本県農研セ，2006年）
供試品種：ヒノヒカリ，温室内試験。

いて記す。

平坦地においては，晩生のミナミニシキから中生のヒノヒカリへの品種の切り替えに伴い，落水時期はわずかに早まる傾向であった。ただし，晩生品種の作付けが混在している地域では落水時期の延長もみられた。

球磨地域においては，ヒノヒカリへの作付けが集中しているが，早生品種を作付けしていた頃と落水時期は変化していなかった。

高冷地においては，コシヒカリ導入の1989年頃より落水時期の変化はみられなかった。

以上のことから，熊本県における水管理の動向は品種の変遷により，一部の地域において落水時期の早進化がみられるが，その幅は最大で1週間程度であり落水期の早進化が玄米品質の低下に影響を与えているかは判然としなかった。

2) 水管理の変更による品質・収量向上効果

水管理と白未熟粒の発生については，地温の低下を狙った改善策として，夜間通水（永畠ら 2005）や掛流し（荒井・伊藤 2001）が有効であると報告がある。熊本県における事例として，2004年に球磨地域における連続用水掛け流し灌漑試験（ヒノヒカリ

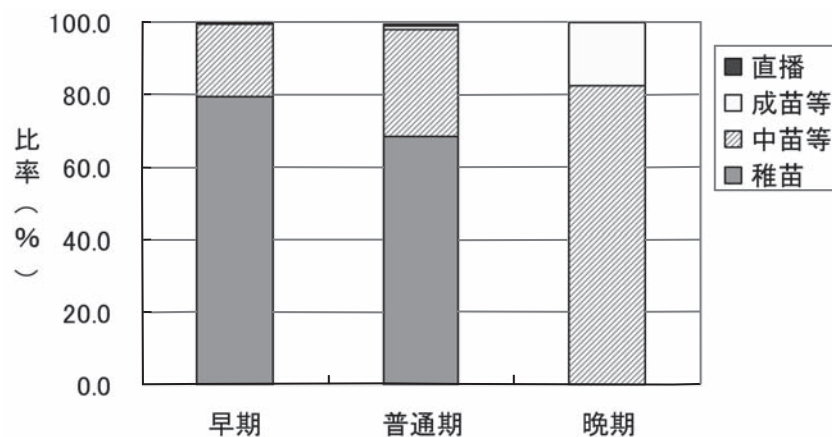
出穂後20日間の日平均気温は、最高27.2℃、最低23.3℃、平均25.3℃)を行った。用水の掛流しをすると、地温、水温(地表面温)では慣行区に比べて日平均値で0.5～1.0℃低下し、一日のうちでは、昼間の温度低下が大きく、夜間は差がみられなかった(第99図)。玄米の白未熟粒発生軽減効果は生育のばらつき等もあり判然とせず、掛流しによる紋枯病の拡大などのマイナス面が報告されている。

また、出穂後の早期の落水により登熟期間の水分ポテンシャルが低下し未熟粒を発生させるとの報告がある(佐々木ら 1983)。熊本県農業研究センター温室内試験においてヒノヒカリの落水時期と白未熟粒の発生を検討した結果、単年度であるが、落水時期延長するほど白未熟粒の発生は少なくなり、出穂後40日以降まで延長することが重要であると考えられた(第100図)。一方、コンペネトロメータによる地耐力調査において、落水7から10日後にコンバインでの収穫作業が可能である(上野ら 1995)こ

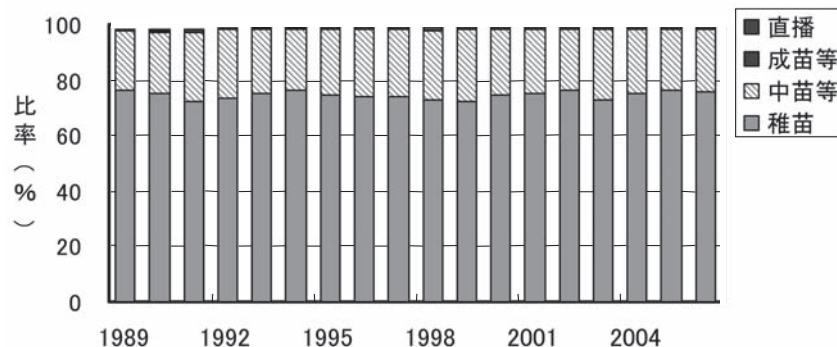
とを考慮すると、ヒノヒカリの出穂から刈り取り適期までは40～45日間程度であるため、ヒノヒカリについては、出穂後35日程度まで落水を延長することが望ましいと考えられた。

引用文献

- 1) 荒井義光・伊藤博樹(2001) 高温登熟時の用水掛け流し処理による水田地温の低下と玄米品質の向上. 日作東北支部報 44: 89-90.
- 2) 永島秀樹・中村啓二・猪野雅哉・黒田晃・橋本良一(2005) 高温登熟条件下における乳白粒および胴割粒の発生軽減技術. 石川県農業総合研究センター研究報告 26: 1-10.
- 3) 佐々木康之・今井良衛・細川平太郎(1983) 高温下で登熟する玄米品質の劣化防止技術. 新潟農試研報 33: 45-54.
- 4) 上野育夫・三ツ川昌洋・伏水邦彦・泉恵市・小



第101図 九州地域水稻作における移植期と苗質 (1989～2000年平均)
九州沖縄地域各県から報告された稲作概況の数値を用いた。



第102図 九州地域の水稲栽培における苗質の推移
九州沖縄地域各県から報告された稲作概況の数値を用いた。

代寛正 (1995) 熊本県平坦地における合理的水田輪作体系の確立. 熊本県農業研究センター研究報告 4 : 1 -13.

7. 栽植様式・密度

近年の高温による九州・沖縄地域水稻の収量、品質低下に対する栽植様式・密度の影響については、これを主目的とする実態調査や改善技術の検討が一部に限られ、全体としては未解明の点が多い。そこで、ここでは栽植様式・密度の推移を各種資料を基に把握するとともに、九州・沖縄地域で近年実施された試験研究および現地実証等のなかから関連する事例を収集し、栽培の実態と改善技術を整理する。

1) 栽植様式・密度の最近の動向

(1) 栽植様式の最近の動向

栽植様式（苗質、移植方法、植え付け本数）のうち苗質と移植方法は地域の気候や作期と関連しており、早期作、普通期作および晩期作には相互に異なる傾向がみられる。九州・沖縄各県の研究機関が毎年取りまとめる栽培法別面積から最近8カ年における作期と苗質・移植方法の関係をみると、早期作では稚苗の比率が8割と高く、残り2割のほとんどを中苗が占めるが、普通期栽培では中苗の割合が早期作より増加すると共に一部には成苗が用いられている。また、熊本県を中心に作付けられる晩期栽培は他の作期とは大きく異なり、中苗が約8割を占め、残り2割には成苗が用いられている（第101図）。これら傾向の違いは、作型によって育苗期間の気象や移植後に見込まれる生育ステージの推移が相互に異なることによると考えられる。

九州・沖縄各県全ての作期に関する1989年から現在までの苗質および移植方法の動向を前記と同様に九州・沖縄各県の研究機関が毎年取りまとめる栽培法別面積からみると、地域（県）や作期によっては、ある時期に苗質の比率が変動する例もあったが（個別データは省略）、全体としては緩やかな増減を繰り返しながらほぼ一定の比率（稚苗：約75%，中

苗：20%代前半）を保っている（第102図）。苗質に大きな変動がない理由は明らかではないが、前記のように苗質と移植方法が地域の気候や作期と関連し、1998年の時点でそれらに応じた基本的な育苗技術がそれぞれの地域ですでに確立されており、その後の新たな取り組みを経ながらも、最終的には地域の気象、作型、営農形態・規模、機械装備等に合致する苗質へ収束したためではないかと推察される。

以上のように苗質や移植方法が過去約20年間にほとんど変動していないことから、近年の高温下における九州・沖縄地域水稻の品質低下に苗質や移植方法の変動が関与した可能性は低いと考えられる。

なお、栽植様式のうち、植え付け本数に関しては、その変動を把握できる資料が得られなかったため明確な傾向を示すことはできないが、懸念される点として、九州の平坦地域を中心に過去20年余りの間に拡大したスクミリングガイによる移植苗の食害を軽減するために植え付け本数を多くする生産現場の事例が頻繁に観察される。食害を受けなかった部分の植え付け本数は従前より多くなり、これが近年の高温条件下における生育・収量・品質に何らかの影響を及ぼしている可能性は否定できない。

(2) 栽植密度の最近の動向

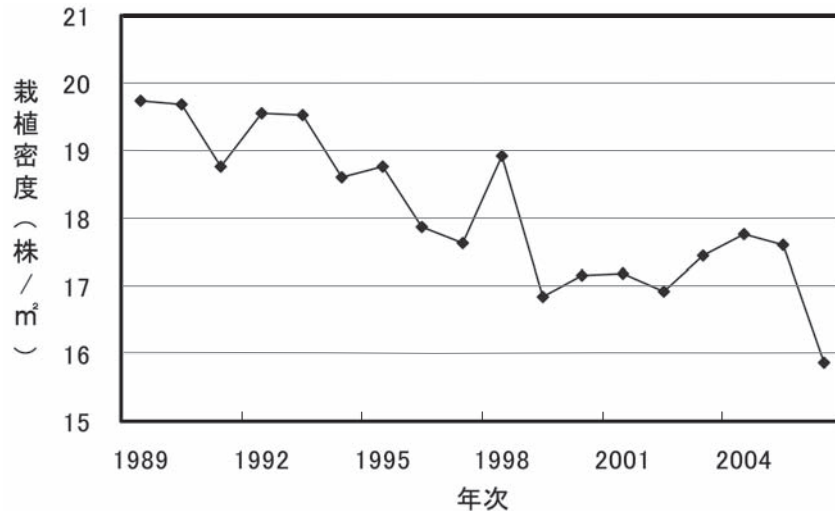
近年、米価の低迷や農家の高齢化に応じて生産コストや重作業の低減が求められるなか、育苗コストと田植え時の重作業の低減が可能な疎植栽培が注目され、研究、実証事例の増加と共に栽培面積が拡大傾向にある。加えて、慣行栽培の栽植密度も低下傾向にあることは多くの稲作関係者が実感していることである。九州・沖縄地域における近年の栽植密度の動向を総括的に把握できる資料ではないが、これを類推する資料として、熊本県における疎植栽培面積の推移（第84表）および地域の標準的栽培法による試験を前提とする奨励品種決定調査現地調査における栽植密度の推移（第103図）を示す。第84表から疎植栽培の面積比率は決して高くはないものの、2001年から2007年にかけて一貫して増加傾向にある

第84表 熊本県における疎植面積の推移

年次	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
疎植面積 (ha)	201	242	280	343	420	638	752
対水稻作比率 (%)	0.5	0.6	0.7	0.8	1.0	1.5	1.8

注1) 熊本県農林水産部農産課調べ。

2) 株間21～28cm（坪当たり40～50株）で移植されたものを疎植とした。



第103図 奨励品種決定調査現地は場の栽植密度の推移 (熊本県)
現地調査は場11地点のうち当該期間を継続する6地点の数値を平均した。

ことがわかる。また、第103図についてはサンプル数が6地点と少なく、年次による変動も大きいですが、その平均値は栽植密度が低下する傾向を示している。

米価下落や高齢化の傾向が今後とも進行することは明らかで、これに応じて疎植栽培面積の増加や一般的な栽植密度の低下傾向が今後とも継続することは十分に予測される。

このような情勢のもと、近年になって高温等による水稻の作柄や品質の低下と疎植化が同時に進行する現状から、両者の関連性の有無については早急に解明する必要がある。

2) 栽植様式・密度の変更による品質・収量向上効果

(1) 栽植様式に関する検討

前項から、近年の高温下における九州・沖縄地域水稻の品質低下に苗質や移植方法の変動が関与する可能性は低い。また、植え付け本数については、今回はその変動を把握しうる資料が得られなかった。さらに、これら栽植様式と水稻の収量・品質の関連を近年の高温下で検討した事例は九州・沖縄地域ではほとんどみられない。以上のことから、本項でその影響の有無や向上効果について検討することは難しいが、基礎的研究や現地実証の場面で検討する余地は多く残されており、今後の解明が待たれる。

(2) 栽植密度に関する検討

高温等気象変動による作柄・品質低下が顕在化した2004年以降に九州・沖縄地域の各県から報告され

た成績概要、成果情報および現地実証等から、栽植密度に関する試験区を設けた事例を収集し、品質の変動の有無を比較した。

収集した事例の主要データを第85表に一覧で示す。収集した合計14事例には平坦地普通期栽培に関する12事例（早生1，中生10，晩生1）と中山間地の普通期早植えに関する2事例（早生1，中生1）が含まれた。これらをもとに栽植密度が収量、品質およびその他栽培上の特性に与える影響を作型や品種の早晩性別に評価したところ、以下の傾向が認められた。

平坦地普通期栽培の中生品種については試験および現地実証の事例が多く、それらの傾向を整理すると、収量については11～15株/m²程度の疎植であっても6月20日頃までの移植であれば多くの場合は概ね標準並みかやや多収を確保できるが（事例①，③，④の6/8植，⑨，⑪の6/16植，⑫の現地2，⑬，⑭），なかには減収する事例もあった（事例⑩，⑫の現地1）。一方で、やや遅い6月末頃の移植では減収しやすい傾向にあった（事例②，④の6/28植，⑪の6/28植）。

同様に疎植による品質の変動をみると、疎植によって品質が明らかに向上した事例は無く、多くの場合はほぼ標準並みであったが、白未熟粒の増加によりやや低下する事例も少なくなかった（事例④，⑨，⑬）。また、疎植と同時に標準比15～20%の密植について検討した事例が複数あり（事例④，⑬，

第85表 近年の高温条件下における栽植密度と玄米品質の関係に関する研究等事例 (九州・沖縄地域)

試験等の概要	栽植密度 (株/㎡)	収量比 (%)	検査 等級	白未熟 粒混入	備考	試験等の概要	栽植密度 (株/㎡)	収量比 (%)	検査 等級	白未熟 粒混入	備考
事例① 年次：2002～2004 地点：熊本農研 土壌：黒ボク土 品種：森のくまさん 作期：6/17～19植	18.5*	100	4.8	2.2		事例⑧ 年次：2006 地点：大分久住現地 土壌： 品種：ヒノヒカリ 作期：5/16植	22.2*	100	2等	—	倒伏1.0
	12.8	95	4.3	1.5			18.5	99	3等	—	倒伏0.0
	11.1	98	4.2	1.8			15.2	98	1等下	—	倒伏0.7
	9.5	99	4.8	2.1			11.9	101	2等	—	倒伏0.0
目的・内容：疎植に関する安定栽培条件（栽植密度）検討 コメント：疎植は遅れ穂増加で熟れムラ拡大、11.1株までが妥当。						目的・内容：「おおいた11」の減肥・減化学肥料での栽培条件確立 コメント：疎植は穂出穂・成熟期が遅れる。					
事例② 年次：2003～2004 地点：熊本市 土壌：灰色低地土 品種：秋音色 作期：6/25～28植	15.9*	100	1.0	0.0	2003	事例⑨ 年次：2004～2006 地点：宮崎総農試 土壌： 品種：まいひかり 作期：6/23	22.2*	100	3.0	15.7(%)	
	10.7	89	1.0	0.0	2003		16.6	112	3.0	19.3(%)	
	20.4*	100	6.5	2.3	2004		12.4	108	5.3	30.2(%)	
	11.1	84	6.0	2.3	2004						
目的・内容：疎植現地実証 コメント：疎植は収量が減少。						目的・内容：普通期「まいひかり」の栽植密度の検討 コメント：16.6株で最多収、12.4株は品質低下。 (白未熟粒項に品質判定機の未熟粒率を代入)					
事例③ 年次：2002～2004 地点：熊本県鹿本町 土壌：灰色低地土 品種：森のくまさん 作期：6/18～21植	14.4*	100	3.0	—	2002	事例⑩ 年次：2004～2006 地点：宮崎総農試 土壌： 品種：ヒノヒカリ 作期：6/23	22.2*	100	4.0	26.8(%)	
	10.6	98	2.5	—	2002		16.6	88	3.3	28.0(%)	
	17.1*	100	2.0	0.8	2003		12.4	88	4.3	34.0(%)	
	11.1	106	1.0	1.3	2003						
	17.5*	100	10.0	3.3	2004						
	11.1	106	10.0	3.3	2004						
目的・内容：疎植現地実証 コメント：2003の疎植は乳白粒がやや増加。						目的・内容：普通期「まいひかり」の栽植密度の検討 コメント：疎植で収量低下。 (白未熟粒項に品質判定機の未熟粒率を代入)					
事例④ 年次：2004 地点：熊本農研 土壌：黒ボク土 品種：ヒノヒカリ 作期：6/8, 6/28	25.6	104	8.5	14(%)	6/8植	事例⑪ 年次：2006 地点：大分農研 土壌： 品種：ヒノヒカリ 作期：6/16, 6/28植	22.2*	100	4.0	10(%)	6/16植
	18.5*	100	9.5	17(%)	6/8植		15.2	98	4.0	10(%)	6/16植
	11.1	113	10.0	19(%)	6/8植		11.1	98	4.0	11(%)	6/16植
	25.6	98	5.5	6(%)	6/28植		22.2*	100	3.0	10(%)	6/28植
	18.5*	100	6.0	8(%)	6/28植		15.2	95	3.0	11(%)	6/28植
	11.1	89	6.5	7(%)	6/28植		11.1	91	2.6	10(%)	6/28植
目的・内容：高温下における中生種の高品質栽培技術確立 コメント：早植、遅植共に密植で乳白粒がやや減少。 遅植は疎植で収量減少。						目的・内容：沿岸地域における品質向上対策技術確立 コメント：晩植の疎植はやや低収傾向。 疎植による品質の低下傾向はない。					
事例⑤ 年次：2004～2005 地点：福岡農試筑後 土壌： 品種：つくしろまん 作期：	20.5*	100	7.0	—	標肥	事例⑫ 年次：2006 地点：大分県2現地 土壌： 品種：ヒノヒカリ 作期：6/21, 27	現地1：6/21植 17.8*	100	3等	10(%)	
	25.2	101	6.8	—	基肥減		14.3	93	3等	11(%)	
	20.5	95	7.3	—	基肥減		現地2：6/28植 18.1*	100	規格外	27(%)	
	13.3	89	6.0	—	基肥減		15.9	99	3等	20(%)	
目的・内容：早晩生に応じた減農薬・基肥減肥下での栽植密度検討 コメント：早生「つくしろまん」は密植条件で収量を確保できる。						目的・内容：⑩の課題の現地実証試験 コメント：現地2カ所間の白未熟粒の差は初数の多少に起因？ 現地2の疎植で白未熟粒が減少した理由は不明。					
事例⑥ 年次：2004～2005 地点：福岡農試筑後 土壌： 品種：あきさやか 作期：	20.5*	100	7.5	—	標肥	事例⑬ 年次：2006 地点：熊本農研 土壌：黒ボク土 品種：ヒノヒカリ 作期：6/28	22.2	107	5.0	20(%)	
	25.2	96	8.8	—	基肥減		18.5*	100	5.5	20(%)	
	20.5	100	7.8	—	基肥減		15.0	99	6.0	34(%)	
	13.3	106	7.3	—	基肥減						
目的・内容：早晩生に応じた減農薬・基肥減肥下での栽植密度検討 コメント：晩生「あきさやか」は疎植条件で収量を確保できる。						目的・内容：高温下における中生種の高品質栽培技術確立 コメント：極端な疎植は白未熟粒の増加につながる。					
事例⑦ 年次：2006 地点：大分農研久住 土壌： 品種：ひとめばれ 作期：5/15植	22.2*	100	2等	—	倒伏5.0	事例⑭ 年次：2006 地点：熊本県八代市 土壌：灰色低地土 品種：ヒノヒカリ 作期：6/17	20.5	100	7.0	—	倒伏4.0
	18.5	94	3等	—	倒伏5.0		17.8*	100	6.0	—	倒伏3.0
	15.2	104	2等	—	倒伏5.0		15.3	100	7.0	—	倒伏2.5
	11.9	104	2等	—	倒伏4.0		14.2	111	6.0	—	倒伏2.5
							12.2	107	6.0	—	倒伏2.5
目的・内容：「おおいた11」の減肥・減化学肥料での栽培条件確立 コメント：疎植は穂出穂・成熟期が遅れる。						目的・内容：平坦肥沃地における適正栽植密度検討（普及実証） コメント：密植は紋枯病、倒伏が増加し、登熟が劣った。 12.2株は14.2株より初数減で減収。結果14.2株が適当。					

注1) 2004～2006年に九州・沖縄各県から報告された成績概要・成果情報等のうち栽植密度に関する調査区を設けた事例をまとめた。
2) 栽植密度の数値左*は当該試験の標準区であることを示す。
3) 検査等級の“等”が付かない数値は1（1等上）～5（2等中）～9（3等下）及び10（規格外）を示す。
4) 白未熟粒の（%）を付した数値は混入粒率、付さない数値は混入程度を示す。

⑭), これらではいずれも収量が低下することはない, 品質は標準と同等か優った。ただし, 平坦肥沃地の現地実証(事例④)において密植ほど倒伏および紋枯病(データ省略)の程度が大きかったことは留意すべき点である。

平坦地普通期栽培において早生品種と晩生品種と比較すると, やや減肥条件下ではあるが, 早生品種は密植(25.2株)で増収, 疎植(13.3株)で減収したのに対し, 晩生品種は疎植で増収し, 品質がやや向上した(事例⑤, ⑥)。

中山間地早植え栽培の早生および中生は22.2株/㎡(標準)から11.1株/㎡(疎植)の範囲で, 収量および品質がほぼ同等に確保されるが, 疎植ほど成熟期が遅れるなど栽培上懸念される点が残る(事例⑦, ⑧)。

以上のことから, 近年の高温下における品質または収量の低下傾向が最も深刻な平坦地普通期栽培の中生品種について, 収量, 品質を安定的に向上できる栽植密度は見いだせなかったが, 収量, 品質の低下を助長しないための栽植密度は概ね18.5株/㎡(または地域慣行)からやや疎植の16株/㎡の範囲と考えられ, この範囲外の疎植または密植を実施する場合, 次の点に留意が必要と考えられる。

- i) 15株/㎡以下の極端な疎植栽培は白未熟粒の増加により品質が低下する場合があるので留意する。また, 高温回避などの目的で慣行より遅く移植する場合および早生品種を作付ける場合, 減収する可能性が高まるため, 極端な疎植は避

ける。

- ii) 慣行より15~20%程度密植することで品質がやや向上する場合もあるが, 肥沃条件下等で生育量が多い場合には過繁茂による倒伏や紋枯病等病害虫を助長する恐れがあることに注意する。

本稿では, 普通期栽培の早生と晩生および中山間地の早植えについて, 収集した事例の範囲で栽植密度と収量・品質との関係を検討したが, 適する栽植密度を明確化するには, さらに多くの調査事例が必要である。同様に, その他の作期や熟期品種についても多くの調査事例の報告が望まれる。

近年の高温下における白未熟粒の発生に栽植密度が影響する理由については, 今回の検討だけでは明らかではない。高橋(2004)は富山県におけるコシヒカリを用いた研究で, 基部未熟粒・背白粒軽減のために登熟期間の稲体の栄養状態の維持が必要であり, 栽植密度を適正(16~18株/㎡)に低減させることが有効な手法の一つとした。加えて, 栽植密度を極端に低減(11.1株/㎡)すると一穂粒数が過剰となり乳白粒の発生が多くなると指摘しており, これらが, 今回得られた傾向の背景にあると推察される。

引用文献

- 1) 高橋渉(2004) 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: 1012-1018.