

気温上昇が水稻の玄米外観品質、
食味と理化学的特性におよぼす影響

大江 和泉・松江 勇次・齊藤 邦行・黒田 俊郎
(応用植物科学コース)

Effects of Rising Temperature on Grain Quality,
Palatability and Physicochemical Properties of Rice

Izumi Oh-e, Yuji Matsue, Kuniyuki Saitoh and Toshiro Kuroda
(*Course of Applied Plant Science*)

岡山大学農学部学術報告 Vol. 96, 13-18 (2007) 別刷

Reprinted from THE SCIENTIFIC REPORTS OF THE FACULTY OF AGRICULTURE
OKAYAMA UNIVERSITY Vol. 96, 13-18 (2007)

気温上昇が水稲の玄米外観品質，食味と理化学的特性におよぼす影響

大江 和泉^{a)}・松江 勇次^{b)}・齊藤 邦行^{a)}・黒田 俊郎^{a)}

(応用植物科学コース)

Effects of Rising Temperature on Grain Quality, Palatability and physicochemical Properties of Rice

Izumi Oh-e^{a)}, Yuji Matsue^{b)}, Kuniyuki Saitoh^{a)} and Toshiro Kuroda^{a)}

(Course of Applied Plant Science)

The effect of high temperatures on grain quality, palatability of cooked rice and physicochemical characteristics of rice was examined in a temperature gradient chamber (TGC). Experimental plots going from TG1 (near the air intake side) and TG4 (near the air exhaust side) along the temperature gradient in TGC, corresponding to low and high temperature, and an open field plot (outside of TGC) were arranged. The mean and maximum air-temperatures in TG4 were 2.8°C and 5.9°C higher, respectively, than those in TG1. Brown rice yield per m² in outside (572 g) was the highest, and those in TG1 (503 g) and TG4 (180 g) were 12.1 and 68.6% lower than outside, respectively. This yield decline was due to the decrease in the number of panicles and percentage of ripened grains, and an increase in the percentage of sterile spikelets. Most of the immature grain was milky white grains (10.8–14.6%) and white berry grains (10.7–43.4%), and other white immature grain accounted for only 0–2.6%. The grains from the outside plot were separated into perfect grain and milky white grain. The overall eating quality (+3 to -3) was in the order of perfect grains (0.31) > outside (0.00) > milky white grains (-0.56) > TG1 (-1.0) > TG4 (-1.44). This indicates that the palatability of perfect and milky white grains was superior to and inferior to that of normal grain, and high temperatures deteriorate the eating quality of cooked rice. In the physicochemical characteristics of rice, the protein content showed a small variation (8.6–8.9%) between normal, perfect and milky white grains, but that in TG1 (9.9%) and TG4 (9.8%) were higher than that in the outside. Amylose content of each plot was in the same order as the overall eating quality. This showed that amylose content did not affect the palatability because amylose content is normally negatively correlated with overall eating quality. H/-H ratio, a texture characteristic, was smaller in perfect grains than in normal grains, and that in milky white grains was larger than normal grains. This shows that the higher the share of milky white grains, the higher the H/-H ratio. Despite the superior eating quality, H/-H in TG1 was larger than that in TG4. Thus, the effect of H/-H ratio on the palatability of cooked rice grown in TGC was not clear.

Key words : Grain quality, High temperatures, Palatability, Physicochemical characteristics, Rice (*Oryza sativa* L.)

緒 言

近年のコメ市場では，消費者の良食味米への志向が一層高まり，良品質米が求められ，水稲作ではより収益性の高い一等米生産を可能にする技術対策が急務な課題となっている。コメの食味に影響する要因は，第一に品種であるが，土壌^{1,2)}，施肥方法³⁾，日射量⁴⁾，登熟気温⁵⁾などの栽培環境だけでなく，倒伏⁶⁾や穂発芽⁷⁾も関係する。

コメの食味と玄米の外観品質には密接な関係があり，登熟期の気温上昇が腹白粒・乳白粒のような白未熟粒を発生させ，玄米の外観品質を低下させることから，登熟気温と米飯の食味を検討した報告が多く⁸⁻¹¹⁾，高品質米生

産の技術対策が講じられている¹²⁾。また，著者らが実験を行った岡山県岡山市においても，夏季の気温上昇がみられ¹³⁾，玄米外観品質の改善技術の構築が求められている。

高温登熟における白未熟粒の発生は，子実（シンク）への同化産物の供給が不足すること¹⁴⁾，シンクの炭水化

Received October 1, 2006

a) 岡山大学大学院自然科学研究科

(The Graduate School of Natural Science and Technology, Okayama University)

b) 福岡県総合農業試験場

(Fukuoka Agricultural Research Center)

物受容能力が低下すること¹⁵⁾が主な要因とされる。これまでの報告では、登熟気温を異にすることを目的に、試験地が異なったり、孤立個体を用いた研究が多く、同一水田内の群落条件下で移植から収穫に至る長期間の気温上昇処理が玄米の外観品質、食味におよぼす影響を検討した例は少ない¹⁶⁾。本研究では、水田内に設置した温度勾配チャンバー (TGC) および TGC 外の同一水田内に栽培された水稻の玄米外観品質、米飯の食味、理化学的特性について調査を行った。

材料と方法

1. 温度勾配チャンバー (Temperature Gradient Chamber ; TGC)

2005年に岡山大学農学部附属山陽圏フィールド科学センターの水田に設置された TGC 内で栽培実験を行った。TGC は、本馬・荒川¹⁷⁾、Horie ら¹⁸⁾、三原¹⁹⁾を参考として、長さ30m、幅2.1m、高さ2.1mで東西方向に設置され、放射の透過性に優れたフィルム (スカイリーダー80E, 東レ製, 全光線透過率93%) で被覆した。また、チャンバーの間口は片側は開口し、反対側は閉口しており、開口部には直径3cmの孔を約200個開けた。通気は閉口部に設置した風力4320 m^h⁻¹の換気ファン (EF-40DTB₁, 三菱製) により行い、TGC の長軸方向に温度勾配を生じさせた。

2. 試験区の設定と栽培方法

試験区はチャンバー内に生じた温度勾配に沿って、開口部付近および閉口部付近にそれぞれ TG 1, TG 4 を配置し、TGC 外の同一水田内に野外区を設けた。試験には水稻品種日本晴を用い、慣行に従いポット育苗された成苗を、6月13日に1株3本で手植え移植した。栽植密度は22.2株m⁻² (条間30cm, 株間15cm) で常時湛水状態とした。施肥は基肥のみとし、緩効性肥料 LP 複合100D-80 (N:P₂O₅:K₂O=14:14:14) を用いて、窒素成分で10a当たり8kgを施用した。雑草、病虫害の防除は、慣行に従った。

3. 気温の推移

野外と TGC 内の気温は、Thermo Recorder おんどとり (TR-7IS, T AND D 製) を用いて測定した。温度センサを開口部より約4m間隔で地上より1.7mに設置し、移植後から収穫までの全期間にわたり、15分毎に記録した。

4. 収量調査

収穫期に、各試験区24株 (8株3反復) を地際から刈り取り、約3週間室内で乾燥させた後、収量と収量構成要素を調査した。なお、精玄米は粒厚1.8mm以上のものとし、水分計 (ライスタ J ケット科学研究所製) で求めた水分含有率を14.5%に換算して求めた。また、生育調査株を対象として、1株あたり穂長の上位3本 (9本3反復) を対象として、触診により不稔籾・早期発育停止

籾・稔実籾を計数し、不稔率を求めた。

5. 玄米外観品質

収量調査で供試した精玄米を、各試験区・反復ごとに均分器を用いて約15gを3反復抽出し、玄米の外観品質調査に供試した。判定は目視によって行い、良質粒 (整粒)、乳白粒、心白粒、基部未熟粒 (基白)、腹部未熟粒 (腹白)、背部未熟粒 (背白)、青未熟粒 (青米)、その他 (死米等) の8段階に分類し、整粒、その他以外の判定を未熟粒とした。

6. 食味官能試験

収量および玄米外観品質の調査に供試した玄米の水分を14~15%に調整し、供試玄米とした。試験は、野外区、TG 1, TG 4に加えて、野外区の整粒および乳白粒のみを目視によって抽出した合計5点の玄米について行った。搗搗と食味官能試験は、福岡県総合農業試験場において松江ら²⁰⁾に準拠して、パネル構成員16名で実施し、基準米 (野外区) と比較して総合評価、外観および味を-3 (かなり不良)~+3 (かなり良)、粘りを-3 (かなり弱い)~+3 (かなり強い)、硬さを-3 (かなり柔らかい)~+3 (かなり硬い) の7段階で評価した。

7. 米の理化学的特性

精米中のタンパク質含有率はケルダール法により全窒素を定量し、これにタンパク質換算係数5.95を乗じて求めた。アミロース含有率はオートアナライザー II 型 (プラン・ルーベ製)、アミログラム特性はビスコグラフ E 型 (ブラベンダー製)、テクスチャー特性はテクスチュロメーター (全研製) を用いてそれぞれ測定を行った。

結 果

1. 気 温

TGC 内の気温は、開口部の TG 1 から閉口部の TG 4 に向かって温度勾配が生じ、各区の平均・最高気温は、野外>TG 1>TG 4の順に高くなった (Table 1)。移植から収穫までの生育期間全体の気温は、高温区 TG 4 では TG 1 に比べて平均気温で2.8℃、最高気温で5.9℃上昇した。最低気温は、夜温を制御していないため区間差はみられなかった。野外区と TG 1 の差は平均気温で0.4℃、最高気温で0.9℃となり、野外区では平年よりも平均・最高気温でそれぞれ1.9℃、3.1℃高くなった。

出穂後20日間の登熟期間の気温は、TG 1 に比べて TG 4 で平均気温2.6℃、最高気温5.4℃の上昇がみられた。野外区と TG 1 を比べると、平均気温で0.2℃、最高気温で0.8℃の差がみられ、平年よりも平均・最高気温でそれぞれ0.9℃、1.5℃上回った。

晴天日の気温は5時頃に最も低く、13時頃に最高値をとった (Fig. 1)。TGC 内の温度勾配は8時から18時までみられ、その差は10時~14時にかけて大きくなり、TG 1 に比べて TG 4 では最大で4.4℃の上昇がみられた。曇天日には晴天日と同様に TGC 内に温度勾配が生

Table 1 The mean, maximum and minimum air temperature of whole growth season and ripening period

		Outside	TG1	TG4	TG4-TG1	Normal Year
Whole growth season	Average	27.8	28.2	31.1	2.8	25.9
	Maximum	32.9	33.8	39.7	5.9	29.8
	Minimum	22.8	22.6	22.4	-0.2	22.1
Ripening period	Average	27.9	28.1	30.8	2.6	27.0
	Maximum	32.6	33.4	38.8	5.4	31.1
	Minimum	23.3	22.9	22.7	-0.2	23.3

Whole growth season and Ripening period were from transplanting to maturity, heading to 20 days after heading, respectively.

じたが、その差は晴天日より小さく、TG1に比べてTG4では最大で1.2℃の上昇にとどまった。

2. 収量、玄米外観品質

㎡当り穂数は野外区(421.8)で最も多く、TGC内のTG1(281.2)、TG4(261.5)ではそれぞれ33.3%、38.0%減少した(Table 2)。一穂穂数はTG1(121.5) > TG4(100.8) ≧ 野外(94.8)の順となった。㎡当り総穂数は、野外(40,000)で最も高く、TG1(34,000)、TG4(26,400)ではそれぞれ15.0%、34.0%低下した。登熟歩合は野外区(65.9%)とTG1(72.4%)の区間差は明確ではなかったが、TG4(37.3%)では著しい低下が認められた。千粒重は野外(21.8g) > TG1(20.6g) > TG4(18.4g)の順となり、TG4では野外区に比べて15.6%小さくなった。㎡当り精玄米収量は、野外区の572gが最も高く、TG1(503g)では12.1%、TG4

(180g)では68.6%減少した。不稔率は、野外区とTG1で7.3、9.2%程度であったが、TG4では19.4%と著しい不稔粒の発生が認められた。

整粒割合はTG1(70.4%) > 野外(61.1%) > TG4(39.1%)の順に高く、TG4では未熟粒の割合が増加したため著しく外観品質が低下した(Table 3)。未熟粒の発生程度をみると、TG4 > 野外 > TG1の順に高くなった。乳白粒、腹白粒の変異はそれぞれ10.8~14.6%、10.7~43.4%の範囲にあったが、その他の形質では0~2.6%と小さく、未熟粒発生の大部分は乳白粒と腹白粒で占められた。

3. 食味官能評価・理化学的特性

野外区を基準とした食味評価をみると(Table 4)、野外区から整粒のみを抽出した整粒の食味評価は、全ての項目において基準と同等かやや上回り、総合評価は整粒

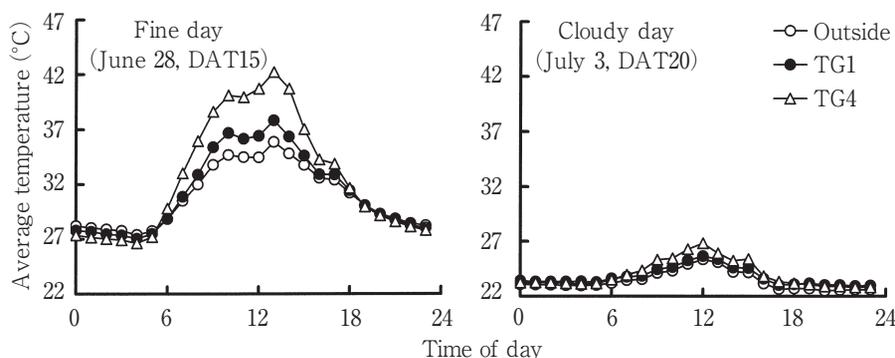


Fig. 1 Diurnal changes in hourly average of temperature in TGC on a fine and cloudy day.

Table 2 Yield and yield component

Plot	No. of panicles (m ⁻²)	No. of spikelets panicle ⁻¹	No. of spikelets (10 ³ m ⁻²)	Percentage of ripened grains	1000-grains weight (g)	Brown rice yield (g m ⁻²)	Percentage of sterile spikelets
Outside	421.8	94.8	40.0	65.9	21.8	572.2	9.2
TG1	281.2	121.5	34.0	72.4	20.6	503.0	7.3
TG4	261.5	100.8	26.4	37.3	18.4	179.7	19.4
LSD _{0.05}	105.5	19.2	10.1	18.0	1.6	124.4	7.7

(0.31) > 野外区 (0.00) > 乳白 (-0.56) > TG1 > (-1.00) > TG4 (-1.44) の順となり、整粒で優れた。外観は整粒 (0.13) で優れ、乳白 (-0.32), TG1 (-0.50) でやや低下、TG4 (-1.25) では著しい低下がみられた。また、味、粘りにおいても総合評価と同様に、整粒で優れ、乳白, TG1, TG4 で劣った。硬さは整粒 (0.00) では基準米と同じ値を示し、乳白 (0.31), TG1 (0.50), TG4 (0.69) で高く、米飯が硬くなる傾向を示した。

米飯の理化学的特性をみると、タンパク質含有率はTGCの外で生産された野外、整粒、乳白で8.6~8.9%の変異を示し、TGC内で生産されたTG1 (9.9%), TG4 (9.8%) で増加した (Table 5)。アミロース含有率は、整粒 (18.4%) > 野外 (17.6%) > 乳白 (16.9%) > TG1 (16.4%) > TG4 (15.9%) の順となり、TG4では整粒に比べて2.5%の低下がみられた。アミログラム特性の最

高粘度、ブレイクダウンはそれぞれ320~367 RVU, 193~203 RVU で変動したものの、区間による一定の傾向はみられなかった。テクスチャー特性のH/-Hは野外 (73.2) に比べて整粒 (45.7) で小さく、乳白 (118.7) で大きくなった。TGC内の試験区ではTG1 (158.7) に比べてTG4 (130.1) で小さくなった。

考 察

1. 収量, 玄米外観品質

穂数は野外区に比べてTG1, TG4で33.3~38.0%減少し、精玄米収量はTG1では野外区に比べて12.1%の減少にとどまったものの、TG4では19.4%の著しい減収となった (Table 2)。TG1では一穂粒数の増加、登熟歩合が向上したことで減収の程度が小さくなった。TG4ではTG1と同様に一穂粒数の増加はみられたものの、登熟歩合、千粒重の低下、不稔率の増加により著しい減

Table 3 Appearance quality of brown rice

Plots	Normal grain	Percentage of damaged grain (%)							Subtotal	Others*
		Milky white	White core	White based	White belly	White back	White side	Green rice		
Outside	61.1	12.5	0.7	0.6	22.3	0.7	0	2.3	38.9	0
TG1	70.4	10.8	2.6	1.4	10.7	1.7	0	2.0	29.1	0.4
TG4	39.1	14.6	0.5	0.8	43.4	0.9	0	0.7	60.9	0
LSD _{0.05}	24.4	ns	ns	ns	21.5	ns	ns	ns	24.7	ns

Others shows the opeque grain and rusty grain etc.

Table 4 Palatability values of cooked rice

Plots	Overall eating quality	Appearance	Taste	Stickness	Hardness
Perfect grain	0.31d	0.13c	0.25c	0.44c	0.00b
Milky white	-0.56c	-0.32b	-0.31b	-0.38b	0.31ab
TG1	-1.00b	-0.50b	-0.63b	-0.75ab	0.50a
TG4	-1.44a	-1.25a	-1.06a	-0.93a	0.69a

Means followed by the same letter are not significantly different at 5% level according to Fisher's PLSD.

Table 5 Physicochemical properties of rice

Plots	Protein content (%)	Amylose content (%)	Amylographic characteristics (R.V.U.)		Texural characteristics (T.U.)
			Maximum viscosity	Breakdown value	H/-H
Outside	8.6a	17.6d	340.0b	194.0a	73.2ab
Perfect grain	8.7ab	18.4e	339.0b	194.0a	45.7a
Milky white	8.9b	16.9c	320.0a	188.0a	118.7bc
TG1	9.9c	16.4b	344.0b	193.0a	158.7c
TG4	9.8c	15.9a	367.0c	203.0b	130.1c

R.V.U. : Rapid visco unit, T.U. : Textural unit, H : Hardness, -H : Stickiness.

Means followed by the same letter are not significantly different at 5% level according to Fisher's PLSD.

取となり、これまでの気温上昇処理による栽培実験と同様の結果となった²¹⁾。

玄米外観品質は TG 1 が最も優れ、TG 4 で著しく劣った (Table 3)。未熟粒を種類別にみると、未熟粒の大半は乳白粒と腹白粒が占めており、TG 4 ではこれらの割合が増加することで未熟粒割合は60.9%におよんだ。また、若干ではあるが TG 1 に比べて野外で玄米外観品質が劣った。大平ら^{22,23)}は、稲体 1 株当りの茎数の差が白未熟粒の発生と関係していることを指摘していることから、野外区と TG 1 の白未熟粒の差は茎数の差によるものと考えられた。また、コムギにおいて平野²⁴⁾は降雨により外観や容積重等の品質低下が生じることを認めている。本実験では TGC 内に配置された TG 1、TG 4 では降雨の影響をうけないことから、野外区では前述のような機作のもと TG 1 に比べて玄米外観品質が低下したと推察され、今後、降雨と玄米外観品質の関係についても検討する必要があると考えられた。

2. 気温上昇が食味と理化学的特性におよぼす影響

野外区を基準米とした食味の総合評価は、野外区では整粒で優れ、乳白で劣り、未熟粒の発生は米飯の食味を低下させることがわかった。また、TGC 内では TG 1 に比べて TG 4 で劣り、TG 4 では食味が最も劣る結果となった (Table 4)。精白米のタンパク質含有率をみると (Table 5)、野外、整粒、乳白では8.6~8.9の変異を示したが、TGC 内で栽培された精白米のタンパク質含有率はこれより約 1%上昇した。大平ら^{22,23)}は、疎植による茎数の減少により、密植条件よりも稲体の 1 茎当りの窒素濃度が高まり、出穂以降の窒素分配が高くなることで白米中の窒素濃度も増加することを報告しており、本実験においても野外区に比べて TG 1、TG 4 で茎数が少なくなったため、1 茎当たりの窒素濃度が高まり、子実のタンパク質含有率が増加したものと考えられた。前重²⁵⁾は、高温登熟下ではタンパク質含有率が増加することを報告しているが、TG 1 と TG 4 のタンパク質含有率の差は0.1%と小さく、本実験におけるタンパク質含有率の変動は、登熟気温の影響よりも茎数減少によるものが大きいと考えられた。また、タンパク質含有率の増加は食味を低下させることから²⁵⁾、TG 1、TG 4 のタンパク質含有率の増加は、食味を低下させる要因であると考えられた。一方、アミロース含有率は整粒>野外>乳白≧TG 1 >TG 4 の順となり、乳白粒、TG 1、TG 4 では低くなった。一般にアミロース含有率は食味と負の関係にあり²⁶⁾、低いほど粘りが強く良食味であることから、乳白、TG 1、TG 4 では食味を向上させる要因として働いたと考えられた。また、乳白と TG 1 のアミロース含有率が同程度であったことから、乳白粒のみを抽出した米飯の食味が TGC 内で栽培された TG 1 と TG 4 よりも優れた要因として、アミロース含有率よりもタンパク質含有率による食味低下の影響が大きかったと推察された。

アミロース含有率は登熟期の気温と負の関係があり^{5,27,28,29)}、高温登熟下では、低温登熟条件に比べてアミロース 1 分子当りのグルコース重合度が減少することでアミロース含有率が低下することが報告されていることから³⁰⁾、野外に比べて気温の高かった TGC 内および TG 1 に比べて TG 4 でアミロース含有率が低下したものと考えられた。しかし、同一気温条件下で生産された野外、整粒、乳白のアミロース含有率には差がみられ、野外区では気温以外の要因が関係していると考えられた。松江・尾形³¹⁾は、同一登熟気温では、玄米千粒重が大きいほどアミロース含有率が高くなることを報告しており、各区の玄米千粒重とアミロース含有率の関係を検討したところ、両者には正の相関関係 ($r=0.920^{**}$) が認められ、野外区では千粒重の大小がアミロース含有率に影響したと考えられた。

アミログラム特性のブレイクダウンと最高粘度は相関が高く、アミロース含有率が高まると最高粘度は低下する⁵⁾。また、アミロース含有率とブレイクダウンの間には負の相関関係があることから³²⁾、両者の関係を検討すると、ブレイクダウンと最高粘度の間には密接な正の相関関係 ($r=0.977^{**}$) が認められたものの、アミロース含有率とブレイクダウンおよび最高粘度の間には明確な関係は認められず、高温登熟下での食味評価にはアミロース含有率は利用できないとする佐藤ら³³⁾の傾向と同様の結果となった。

テクスチャー特性の分析に用いたテクスチュロメーターは、人間の咀嚼動作をモデル化した装置であり、米飯の食味評価のうち硬さ、粘り等の物理性を評価できる特徴がある³⁴⁾。また、米飯の食味は粘りと硬さによるところが大きいとされ³⁴⁾、高温登熟下で食味とテクスチャー特性を検討した佐藤ら³³⁾と同様に H/H と食味総合評価の関係を検討すると、野外で生産された米飯の食味総合評価と H/H の関係は負の相関関係 ($r=0.999^{**}$) が認められ、白未熟粒の発生はテクスチャー特性に影響するものと推察された。しかし、TGC 内の H/H は、TG 1 (158.7) に比べて食味の劣った TG 4 (130.1) で小さく、TGC 内で生産された米飯の食味低下と理化学的特性の関係は明確ではなかった。

岡山県の水稲作における基幹品種は早生のコシヒカリ、中生のヒノヒカリ、晩生のアケボノであるが、近年アケボノにおいて、腹白粒の発生が多発している実態がある³⁵⁾。また、著者らは本研究に用いたものと同様の TGC を用い、2 カ年にわたって水稲の玄米外観品質の品種間差を検討したところ、平均気温0.9~1.0℃、最高気温1.8~1.9℃の気温上昇によって多くの品種において玄米外観品質が劣ったが、コシヒカリ、アケボノの外観品質は 2 カ年を通して有意に未熟粒の発生が増加することを確認しており³⁶⁾、今後、気温上昇の進行に対しては、作期の変更に加えて、気温上昇による未熟粒発生が少な

く、良食味品種の選択を検討する必要があると考えられた。

引用文献

- 1) 茶村修吾・本田康邦・飯田耕平・坪川藤夫：米の食味と土壤型との関係 第2報 米粒の物理化学的性質と食味との関係。日作紀, **41**, 244-249 (1972)
- 2) 松江勇次・小田原孝治・比良松道一：北部九州産米の食味に関する研究 第8報 黒ボク土産米の食味向上のための窒素施用法およびゼオライトの施用。日作紀, **66**, 189-194 (1997)
- 3) 近藤始彦・安田道夫・野副卓人：三要素の欠除が米の食味関連成分と食味評価に及ぼす影響—大曲での三要素試験より—。東北農試研究資料, **22**, 105-113 (1998)
- 4) 松江勇次・吉野久美・吉田智彦：北部九州産米の食味に関する研究 第3報 登熟中期以降の遮光処理が米の食味および理化学的特性に及ぼす影響。日作紀, **61**, 218-222 (1992)
- 5) 茶村修吾・金子平一・齊藤祐幸：登熟期の気温と米の食味との関係—登熟気温を一定温度とした場合—。日作紀, **48**, 475-482 (1979)
- 6) 松江勇次・水田一枝・吉野久美・吉田智彦：北部九州産米の食味に関する研究 第1報 移植時期, 倒伏の時期が米の食味および理化学的特性に及ぼす影響。日作紀, **60**, 490-496 (1991)
- 7) 川村富輝・大里久美・浜地勇次：水稲の成熟期における穂発芽処理が米の食味及び理化学的特性に及ぼす影響。福岡農試研報, **18**, 1-4 (1999)
- 8) 平 俊雄：1993年の低温と1994年の高温が福島県の水稲品種の食味と理化学的特性に与えた影響。日作紀, **67**, 26-29 (1998)
- 9) 寺島一男・齊藤祐幸・酒井長雄・渡部富男・尾形武文・秋田重誠：1999年の夏季高温が水稲の登熟と米品質に及ぼした影響。日作紀, **70**, 449-458 (2001)
- 10) 前重道雅：米の食味関与要因の変動に関する研究 第5報 糊化特性並びに炊飯特性に及ぼす登熟気温の影響。広島農試研報, **48**, 17-22 (1984)
- 11) 徐 錫元・茶村修吾：玄米の蛋白質・燐・カリウム含有率の品種間差異, およびそれらに及ぼす登熟期間の気温としゃ光の影響。日作紀, **49**, 199-204 (1980)
- 12) 重山博信・伊藤喜美子・阿部聖一・小林和幸・平尾賢一・松井崇晃・星 豊一：新潟県における水稲品種の品質・食味の向上 第16報 水稲の高温水かんがいによる高温登熟性の検定。北陸作物学会報, **34**, 21-23 (1999)
- 13) 岡山地方気象台：岡山県の気象 岡山地方気象台創立100周年記念。(1991)
- 14) 小葉田亨・植向直哉・稲村達也・加賀田恒：子実への同化産物供給不足による高温下の乳白米発生。日作紀, **73**, 315-322 (2004)
- 15) 岩澤紀生・松田智明・萩原義邦・新田洋司：水稲登熟期の高温ストレスに伴う粒厚減少の構造的要因Ⅱ。高温ストレスによる胚乳組織形成の異常。日作紀, **72** (別2), 92-93 (2002)
- 16) 永畑秀樹・黒田 晃：高温処理が早生水稲の白未熟粒発生および食味関連形質に与える影響。北陸作物学会報, **39**, 81-84 (2004)
- 17) 本馬昌直・荒川市郎：水稲の温度反応研究のための TGC の利用。福島農試研報, **33**, 7-13 (1996)
- 18) Horie T., H. Nakagawa, J. Nakano, K. Hamotani and H. Y. Kim : Temperature gradient chambers for research on global environment change. III. A system designed for rice in Kyoto, Japan. Plant Cell and Environ., **18**, 1064-1069 (1995)
- 19) 三原義秋：圃場試験への温度応答曲線方式導入の提唱。農業および園芸, **46**, 721-726 (1971)
- 20) 松江勇次・佐藤大和・尾形武文：良食味水稲品種における少数パネル・多数資料による米飯の食味評価。日作紀, **72**, 38-42 (2003)
- 21) 金 漢龍・堀江 武・中川博視・和田晋征：高 CO₂濃度環境が水稲の生育・収量に及ぼす影響 第2報 収量および収量構成要素について。日作紀, **65**, 644-651 (1996)
- 22) 大平陽一・木村秀也・白土宏之・高梨純一：栽植密度, 施肥法の違いが水稲の生育及び窒素の動態に与える影響。日作紀, **69** (別1), 96-97 (2000)
- 23) 大平陽一・白土宏之・竹田博之・高梨純一：白米窒素濃度に及ぼす栽植密度, 施肥法の影響の解析。日作紀, **71** (別1), 136-137 (2002)
- 24) 平野寿助：小麦登熟期の遭雨による品質低下とその機作に関する研究。中国農試報, **20**, 27-78 (1971)
- 25) 前重道雅：米の食味関与要因の変動に関する研究 第3報 玄米タンパク質含量におよぼす登熟気温の影響。広島農試報, **44**, 39-44 (1981)
- 26) 松江勇次・佐藤大和・尾形武文：低アミロース品種における米の食味評価とブレンド適性。日作紀, **74**, 422-426 (2005)
- 27) 春原嘉弘・横山祐正・須藤 充・前田一春・八島敏行：水稲低アミロース品種の環境による食味の変動 第1報 登熟気温の差がアミロース含有率に及ぼす影響。日作東北支報, **42**, 59-60 (1999)
- 28) 館山元春・須藤 充・神田伸一郎・坂本聖子・坂井 真：水稲低アミロース品種の環境による食味の変動 第3報 登熟気温の違いによるアミロース含有率変動の品種間差異。日作東北支報, **46**, 53-55 (2003)
- 29) 大友考憲・吉田茂敏・白石真貴夫・齊藤清男：水稲の登熟気温が米の窒素濃度, アミロース含有率および食味に与える影響。日作九支報, **59**, 38-40 (1992)
- 30) Asaoka M., K. Okuno, Y. Konishi, and H. Fuwa : The effects of endosperm mutations and environmental temperature during development on the distribution of molecular weight of amylose in rice endosperm. Agric. Biol. Chem., **51**, 3451-3453 (1987)
- 31) 松江勇次・尾形武文：栽培条件が穂上位置別の米粒のアミロース含有率に与える影響。日作紀, **68**, 495-500 (1999)
- 32) 西村 実・山内富士雄・大内邦夫・浜村邦夫：北海道の最近の水稲品種及び系統の食味特性の評価—低温年及び高温年産米における理化学的特性と官能試験結果の対応—。北海道農試研報, **144**, 77-89 (1985)
- 33) 佐藤大和・陣内暢明・尾形武文・内川 修・田中浩平：水稲の高温登熟条件下での食味変動の品種間差と評価指標形質。福岡農試研報, **24**, 39-42 (2005)
- 34) 豊島英親・小野正博・岡留博司・河村 満・吉崎 繁・木村俊範・大坪研一：早炊き米製造条件と食味特性。日食工誌, **46** (4), 197-204 (1999)
- 35) 大久保和男・杉本真一：水稲品種「アケボノ」における腹白未熟粒の発生要因。岡山農試研報, **20**, 1-5 (2002)
- 36) 大江和泉・齊藤邦行・黒田俊郎：気温上昇がイネ品種の不稔発生, 玄米外観品質におよぼす影響。日作中支集録, **46**, 32-33 (2005)