

米の理化学的特性における年次間および産地間変動

今林惣一郎・尾形武文・松江勇次*

(福岡県農業総合試験場)

要旨: 米の理化学的特性値の年次間および産地間変動を明らかにし、その変動要因を検討した。年次間と品種間の分散成分の値を比較するとアミロース含有率、最高粘度および H/A_3 では年次間の分散の方が品種間の分散より小さく、逆に、タンパク質含有率、ブレイクダウンおよび $H/-H$ は年次間の分散が品種間の分散より大きかった。年次間の変動は、アミログラム特性およびアミロース含有率は登熟温度の影響が大きかったが、テクスチャー特性は登熟温度以外の影響が考えられた。理化学的特性値からは 1994 年の食味が良かったと推察された。また、米の理化学的特性の年次間変動の大小には品種間差が認められた。同一品種を用いて理化学的特性における産地間の変動をみると、テクスチャー特性の H/A_3 、 $H/-H$ とタンパク質含有率は産地による変動が大きかった。一方、アミロース含有率およびアミログラム特性は、産地による変動が小さかった。テクスチャー特性の変動が大きかった要因として、窒素施用量の違いによるタンパク質含有率の変動によってテクスチャー特性が大きく影響を受けたことが考えられた。アミロース含有率およびアミログラム特性の産地間の変動が小さかった要因としては、これらの形質が作期が大きく異なる場合においては栽培環境条件よりも品種固有の遺伝的特性に強く支配されているためと考えられた。

キーワード: アミログラム特性、アミロース、米、産地間変動、タンパク質、テクスチャー特性、年次間変動。

最近、米の輸入自由化や消費者の銘柄米嗜好などにより食味をめぐる米の産地間競争がますます激しくなっている。このため産地ではよりいっそうの良食味米生産が望まれている。特に、産地では産米の食味改善に対して理化学的特性の分析機器を導入して、食味に関係した理化学的特性に視点をおいた栽培方法の改善を検討している。すなわち、ある一定の収量水準を確保しながらタンパク質やアミロース含有率の低い米を生産するといった、理化学的特性が優れる栽培方法の確立が求められている。

今後は地域別産米の改良および振興のために、こうした理化学的特性値を考慮した良質米生産技術の確立が急務となってくる。

また、ここ数年、年次での気候変動が大きく、異常気象が続いている。こうしたなかで気象、栽培環境条件の変動に対して安定した理化学的特性値を有する品種を育成することも重要である。このように気象、栽培環境変動に対して安定した良食味米生産技術の確立および良食味品種育成のためには、食味および米の理化学的特性についての年次間、産地間変動を明らかにする必要がある。

しかし、米の理化学的特性についての年次間、産地間変動について検討した報告は少く(本庄 1971, 前重 1981, 山内・大内 1982, 狩野・岡野 1984)、タンパク質以外の理化学的特性を含めて、年次間および産地間変動の大小を論じ、その要因を検討した報告はない。また、それら環境変動と品種間変動の相対的比較を行った報告もみあたらない。

本研究では気象、栽培環境変動に対して安定した良食味米生産技術および良食味品種育成のための基礎的知見を得るために、米の理化学的特性値の年次間および産地間変動とその変動要因を検討し、さらに理化学的特性値の品種間変動と年次間変動の大きさの比較を行った。

材料と方法

試験 1. 米の理化学的特性の年次間変動

材料は 1992 年～1995 年の 4 カ年、福岡県農業総合試験場内の砂壌土水田において栽培した。栽培方法は中苗を用いて、1 株 3～4 本の機械植で、栽植密度は条間 31 cm、株間 15 cm ($21.5 \text{ 株}/\text{m}^2$) とした。移植時期は 6 月 15～17 日とした。施肥量(基肥+第 1 回穂肥+第 2 回穂肥)は極早生種(コシヒカリ、キヌヒカリ、夢つくし、ミネアサヒ)では窒素成分で $5.0+2.0+1.5 \text{ g m}^{-2}$ とした。早生種(日本晴)は $6.0+2.0+1.5 \text{ g m}^{-2}$ 、中生(ヒノヒカリ)と晩生種(レイホウ、ユメヒカリ)は $7.0+3.0+2.0 \text{ g m}^{-2}$ とした。リン酸、カリはそれぞれ極早生、早生種は合計 6.9 g m^{-2} 、中生、晩生種は 12.0 g m^{-2} とした。試験規模は 1 区 10.5 m^2 、2 反復とした。理化学的特性の分析は各試験年の 12 月～翌年 3 月に実施した。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(ブラン・ルーベ社製)を用いて Juliano (1971) の自動分析システムを応用した稲津 (1982) の方法により比色定量した。アミログラム特性はビスコグラフ E 型(ブラベンダー社製)で既報(松江ら 1991)に準じて測定を行った。テクスチャー特性はテクスチュロメーター(全研社製)を用いて、江幡・平沢 (1982) の 3 粒方法に準じて測定を行った。生育期間中の気象データは、福岡県農業総合試験場内の観測値を用いた。

試験 2. 米の理化学的特性の産地間変動

1994 年、福岡県内のほぼ全域を占める市町村 30 カ所に

おいて夢つくしを用いて実施した。栽培方法は現地の慣行栽培法に準じて行った。移植時期は5月17日～6月21日で、全産地における出穂期の幅は14日であった。施肥量は窒素成分、総量で4.8～9.6 gm⁻²の範囲であった。精米の理化学的特性のなかでアミロース、アミログラム特性の分析方法は試験1に準じたが、タンパク質は近赤外分光分析計（プラン・ルーベ社製、インフラライザー 500）で、テクスチャー特性はテクスチュロメータを用いて、遠藤ら（1980）の0.6 g 測定法に準じて測定を行った。

結果と考察

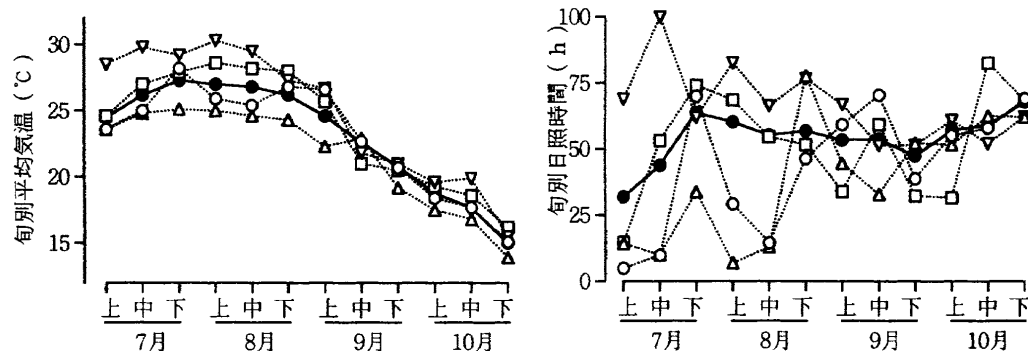
1. 気象および生育概況

1992年～1995年の4カ年における生育期間中の旬別平均気温と日照時間を第1図に示した。1992年は、登熟期間はやや高温・多照で良好であったが、7月の前半と8月の日照不足による m² 当たり収量の減少により作況指数は98のやや不良となった。1993年は7月中旬～8月中旬

（出穂期）にかけては九州管区気象台始まって以来の記録的な低温・寡照条件が続いた。登熟期間においても低温・寡照条件で経過したため、m² 当たり収量が少なく、登熟歩合は低く、千粒重は軽くなり、作況指数は74の著しい不良となった。逆に1994年は出穂期前および登熟期間も気象台観測史上記録的な高温・多照条件で経過したため、登熟歩合が高く、千粒重が重くなって作況指数は111となり、史上最高の作柄となった。1995年も高温・多照条件で経過し、登熟期間も9月下旬～10月上旬を除き、総じて多照条件に恵まれたため作況指数は103のやや良となった（注：農林水産省統計情報部 1994～1997年、平成4～7年産作物統計）。

2. 米の理化学的特性の年次間変動

品種別に1992～1995年における理化学的特性値の平均値と年次間の分散から計算した変動係数を第1表に示した。品種をこみにしてみると、アミログラム特性の最高粘



第1図 1992～1995年の旬別平均気温と日照時間。

……○…… 1992年, ……△…… 1993年, ……▽…… 1994年, ……□…… 1995年, —●— 平年値 (1979～1996年)。

第1表 1992～1995年における品種別、米の理化学的特性の平均値と変動係数。

早晚性	品 種 名		タンパク質	アミロース	アミログラム特性		テクスチャー特性		
			含 有 率 %	含 有 率 %	最高粘度 B.U.	ブレイクダウン B.U.	H/-H	H/A ₃	
極早生	コシヒカリ	平均値	7.5	16.8	450	200	2.94	8.37	
		変動係数 (%)	3.1	8.0	10.2	16.6	10.5	12.8	
	キヌヒカリ	平均値	7.7	17.2	449	198	2.88	8.54	
		変動係数 (%)	3.3	9.2	14.5	25.0	15.1	20.3	
	ミネアサヒ	平均値	7.2	17.6	421	186	2.92	8.15	
		変動係数 (%)	1.8	7.5	15.1	23.3	12.1	16.3	
	夢つくし	平均値	7.5	16.7	469	209	2.84	8.12	
		変動係数 (%)	4.4	8.3	13.7	19.3	13.1	20.0	
	早 生	日本晴	平均値	7.8	19.4	375	154	3.24	9.49
			変動係数 (%)	5.8	5.4	20.2	30.7	8.7	18.7
中 生	ヒノヒカリ	平均値	7.4	19.7	374	156	3.42	9.74	
		変動係数 (%)	4.4	7.1	18.6	24.2	12.8	24.3	
晩 生	レイホウ	平均値	7.5	21.7	289	96	3.77	13.52	
		変動係数 (%)	4.8	6.6	12.9	31.8	15.3	27.2	
	ユメヒカリ	平均値	7.7	20.9	291	115	3.34	10.93	
		変動係数 (%)	0.7	6.0	15.6	34.0	17.0	31.5	
		変動係数の平均 (%)		3.5	7.3	15.1	25.6	13.1	21.4

度とブレイクダウンおよびテクスチャー特性の $H/-H$ と H/A_3 の変動係数はそれぞれ 15.1, 25.6 および 13.1, 21.4 と大きく、次にアミロース含有率 7.3 の順で大きかった。一方、タンパク質含有率の変動係数は 3.5 と他の理化学的特性値に比べて小さかった。次に年次間の変動が大きかったアミログラムおよびテクスチャー特性の変動係数を品種別にみると、コシヒカリでは最高粘度、ブレイクダウン、 $H/-H$ および H/A_3 の変動係数はそれぞれ 10.2, 16.6, 10.5, 12.8 と供試品種のなかでは最も小さく、逆にユメヒカリでは 15.6, 34.0, 17.0, 31.5 と変動係数は最も大きかった。このように米の理化学的特性の年次間変動の大小は理化学的特性の項目によって異なることと、米の理化学的特性の年次間変動の大小には品種間差があることが認められた。

次に第2表にはこの試験を行った4カ年各品種における栽培年次間および品種間の繰り返しのない二元配置による分散分析の結果と平均平方の分散成分から推定した年次間と品種間の分散成分の値(スネデカー・1966)を示した。年次と品種におけるタンパク質含有率、アミロース含有率、アミログラム特性およびテクチャー特性のF値はいずれも有意で、理化学的特性の全項目において年次間および品種間に有意な差が認められた。年次間と品種間の分散成分の値をみるとアミロース含有率、最高粘度および H/A_3 では年次間の分散の方が品種間の分散より小さく、一方、タンパク質含有率、ブレイクダウンおよび $H/-H$ は

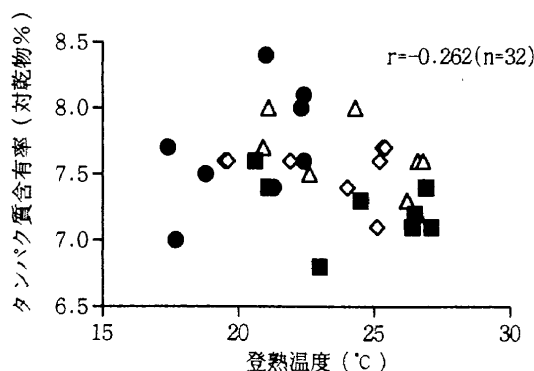
年次間の分散が品種間の分散より大きかった。これらの結果から栽培環境条件の違いが理化学的特性におよぼす影響と品種の違いによる理化学的特性の差を比較検討すると、アミロース含有率、最高粘度および H/A_3 は品種の違いによる差の方が大きく、タンパク質含有率、ブレイクダウンおよび $H/-H$ は栽培環境条件の影響が大きいことが示唆される。

米の理化学的特性は出穂の早晚を通して登熟温度の影響を受けることから、1992～1995年における品種をこみにして登熟温度と理化学的特性との関係を検討した。登熟温度とタンパク質含有率との間には一定の関係は認められず(第2図)、タンパク質含有率は出穂期の早晚による登熟温度に支配されているという既報(木戸・梁取 1965, 本庄 1971, 前重 1981)の結果と異なった。タンパク質含有率と収量との間には10%の有意水準で負の関係($r=-0.319$, $n=32$)が認められた。そしてタンパク質含有率はsinkの影響を受けることが報告(浪花ら 1970, 佐々木ら 1993)されている。これらのことから本研究におけるタンパク質含有率には、登熟温度よりもsinkとsourceとの関係が強く影響を与えたものと推察される。一方、最高粘度(第3図)とブレイクダウン(第4図)が正の、アミロース含有率(第5図)と $H/-H$ (第6図) および H/A_3 (第7図) が負の関係にあり既往の報告(稲津 1988, 松江ら 1991)と一致した。このように出穂期が早く、登熟温度が高いほどアミロース含有率は低く、アミログラム

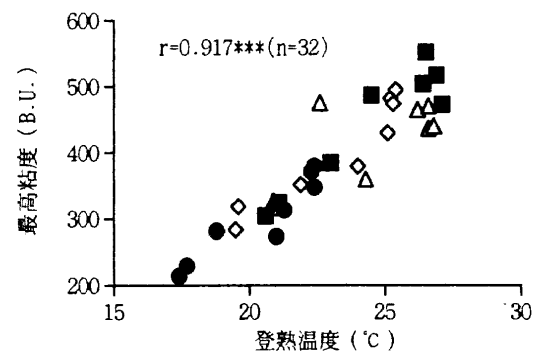
第2表 1992～1995年における米8品種の理化学的特性の分散分析と栽培年次間および品種間の分散成分。

要因	タンパク質含有率			アミロース含有率		アミログラム特性				テクスチャー特性				平均平方の 分散成分
	自由度	平均 平方	分散 成分	平均 平方	分散 成分	最高粘度		ブレイクダウン		H/－H		H/A ₃		
						平均 平方	分散 成分	平均 平方	分散 成分	平均 平方	分散 成分	平均 平方	分散 成分	
全体	31													
年次	3	0.44**	0.048	13.66**	1.646	30016**	3608	13609**	1693	1.54**	0.185	43.67**	5.23	$\sigma^2+8\sigma_y^2$
品種	7	0.14*	0.023	16.48**	3.999	19830**	4669	6954**	1598	0.44**	0.095	13.75**	10.48	$\sigma^2+4\sigma_c^2$
誤差	21	0.05		0.49		1153		563		0.06		1.89		σ^2

**, *: それぞれ 1%, 5% 水準で有意な差がある。年次間と品種間の分散成分は平均平方の分散成分から推定した (σ_y^2 : 年次間の分散, σ_c^2 : 品種間の分散, σ^2 : 誤差の分散成分)。



第2図 登熟温度と精米中タンパク質含有率との関係。
◇: 1992年, ●: 1993年, ■: 1994年, △: 1995年。



第3図 登熟温度と最高粘度との関係。
図中の記号は第2図に同じ。

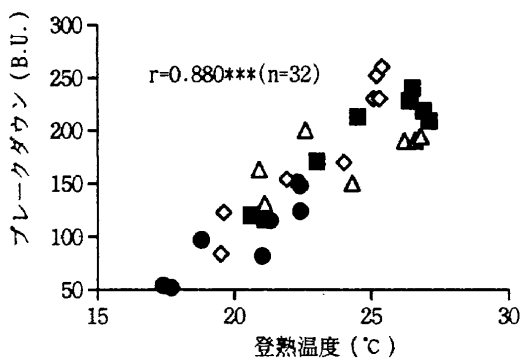
特性値は高く、テクスチャー特性値は小さくなった。さらに、これら理化学的特性の要因相互間の影響を取り除いた登熟温度との偏相関係数では、アミロース含有率 ($r=-0.666^{***}$) とアミログラム特性 (最高粘度 $r=0.406^*$, ブレークダウン $r=-0.435^*$) に有意な値が得られ、単相関係数が有意であったテクスチャー特性 ($H/-H$ $r=0.125$, H/A_3 $r=-0.219$) とタンパク質含有率 ($r=-0.215$) には有意な値は得られなかった。このことは、年次間の変動が大きかったアミロース含有率とアミログラム特性は登熟温度の影響を直接受け、一方、テクスチャー特性は登熟温度で変わるものの、その変動は他の要因によっていることを示している。

第3～7図によると、1994年は他の年に比べて最高粘度は高く、ブレークダウンは大きく、アミロース含有率は低く、 $H/-H$ および H/A_3 は小さかった。年次間で食味の値を比較することは困難で(松江ら 1992) ある。しかし、第3～7図から1994年は他の年よりも食味が良かったのではないかと理化学的特性値からは推察される。

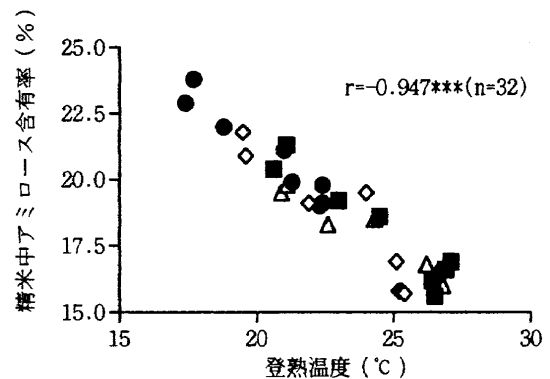
3. 米の理化学的特性の産地間変動

産地 30 カ所間における理化学的特性値の平均値と変動係数を第3表に示した。理化学的特性値の変動係数をみると、テクスチャー特性の H/A_3 は 26.9, $H/-H$ は 24.7 と最も大きく、次にタンパク質含有率 7.0 の順で大きかった。一方、アミロース含有率とアミログラム特性の最高粘度はともに 4.4 と小さかった。

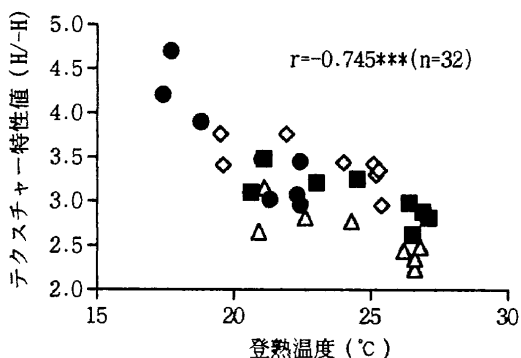
さらに理化学的特性の相互関係を検討すると、変動係数の最も大きかったテクスチャー特性の H/A_3 , $H/-H$ とタンパク質含有率との間にはそれぞれ 10%, 5%水準で正の相関関係が認められた ($r=0.306$, $r=0.394$)。この結果は稲津の報告(1988)と一致するものである。しかし、アミロース含有率 ($r=0.158$, $r=0.050$) およびアミログラム特性値の最高粘度 ($r=-0.232$, $r=-0.047$) とブレークダウン ($r=-0.152$, $r=0.072$) との間には一定の関係は認められなかった。また、テクスチャー特性と関係が認められたタンパク質含有率と各産地での窒素全施用量(第8図)および穂肥施用量 ($r=0.380^*$) との間にはそれ



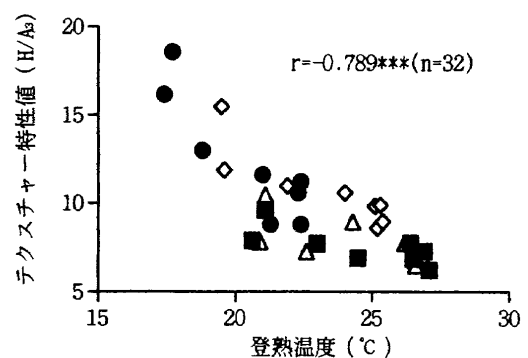
第4図 登熟温度とブレークダウンとの関係。
図中の記号は第2図に同じ。



第5図 登熟温度と精米中アミロース含有率との関係。
図中の記号は第2図に同じ。



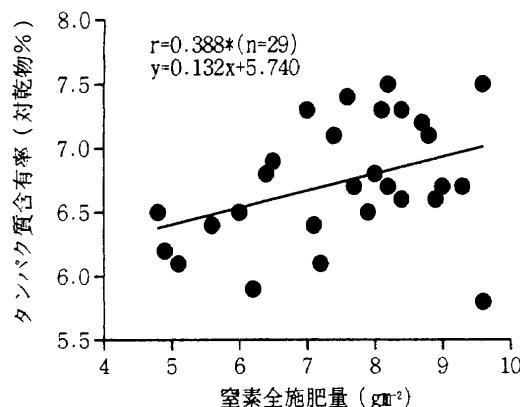
第6図 登熟温度とテクスチャー特性値 ($H/-H$) との関係。
図中の記号は第2図に同じ。



第7図 登熟温度とテクスチャー特性値 (H/A_3) との関係。
図中の記号は第2図に同じ。

第3表 産地 30カ所における理化学的特性の平均値と変動係数 (1994年)。

	タンパク質 含 有 率 %	アミロース 含 有 率 %	アミログラム特性		テクスチャー特性	
			最高粘度 B.U.	ブレークダウン B.U.	$H/-H$	H/A_3
平均値	6.8	18.0	545	305	10.87	16.63
変動係数 (%)	7.0	4.4	4.4	5.9	24.7	26.9



第8図 窒素全施肥量と精米中タンパク質含有率との関係。

それ有意な正の相関関係が認められ、窒素全施用量および穂肥施用量が多い産地は精米中のタンパク質含有率が高い傾向を示した。また、産地間においては既報（木戸・梁取 1965, 本庄 1971, 前重 1981）で述べられている出穂期が早い程タンパク質含有率は高くなるという関係は認められなかった ($r=0.297$)。これは前述したように、タンパク質含有率が登熟温度よりも sink と source との関係の影響を強く受けたものと推察される。

このように同一品種を用いた場合、理化学的特性のなかではテクスチャー特性の H/A_3 , $H/-H$ とタンパク質含有率は産地による変動が大きかった。テクスチャー特性は、タンパク質含有率の影響を大きく受けることが知られており（稲津 1988, 土屋・上本 1988, 川上・長澤 1992）、本試験においてもテクスチャー特性とタンパク質含有率との間に関係が認められた。さらに、タンパク質含有率は窒素施用量と関係が認められたことから、テクスチャー特性の変動が大きかった要因の一つとしては、窒素施用量の違いによるタンパク質含有率の変動によってテクスチャー特性が影響を受けたものと考えられる。一方、アミロース含有率およびアミログラム特性は、産地による変動が小さいことが判明した。アミロース含有率およびアミログラム特性は品種固有の出穂の早晩による登熟温度の影響を強く受ける（稲津 1988, 松江ら 1991）。また、稲津（1988）はアミロース含有率の品種、栽培環境による変動要因のなかでは品種が最も大きく、ついで生産年度、土壌、生産地帯、収穫時期の順であることを明らかにしている。また、アミロース含有率は窒素施肥量の影響をほとんど受けないことが指摘されている（山下・藤本 1974, 稲津 1988, 小田原ら 1992）。これらのことからアミロース含有率やアミログラム特性の産地間の変動が小さかったことの要因の一つとして、作期が大きく異なる場合においてはこれらの形質が栽培環境条件よりも品種固有の遺伝的特性に強く支配されているためと考えられる。また、このことは前述で明らかにしたアミロース含有率および最高粘度における年次間の分散は品種間の分散より小さいという結

果を裏付けるものである。

引用文献

- 江幡守衛・平沢恵子 1982. 米飯のテクスチャーに関する研究. 第1報 テクスチャーと食味との関係について. 日作紀 51: 235-241.
- 遠藤勲・柳瀬肇・石間紀男・竹生新治郎 1980. 極少量炊飯方式による米飯のテクスチュロメーター測定. 第1報 測定条件の検討と主要品種への適用. 食総研報 37: 1-8.
- 本庄一雄 1971. 米のタンパク含量に関する研究. 第1報 タンパク質含有率の品種間差異ならびにタンパク質含有率に及ぼす気象環境の影響. 日作紀 40: 183-189.
- 稲津脩 1982. 米の食味検定. 米の食味の理化学性. 北海道立農試資料 15: 49-64.
- 稲津脩 1988. 北海道産米の食味向上による品質改善に関する研究. 北海道立農試報 66: 1-89.
- Juliano, B.O. 1971. A simplified assay for milled rice amylose. Cereal Sci. Today 16: 334-360.
- 狩野幹夫・岡野博文 1984. 茨城県産水稻玄米の化学成分とその変動要因に関する研究. 茨城県農試研報 24: 51-66.
- 川上修・長澤祐滋 1992. 食味関連成分および物理的食味測定値と米食味の関係. 北陸作物学会報 27: 8-9.
- 木戸三夫・梁取昭三 1965. 米粒蛋白質集積過程の組織化学的研究. 日作紀 34: 204-209.
- 松江勇次・水田一枝・古野久美・吉田智彦 1991. 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: 497-503.
- 松江勇次・原田皓二・吉田智彦 1992. 北部九州産米の食味に関する研究. 第4報 品種および産地での食味の安定性. 日作紀 61: 545-550.
- 前重道雅 1981. 米の食味関与要因の変動に関する研究. 第2報 玄米タンパク質含量の生産地間差異. 広島県農試報 44: 29-38.
- 浪花勲・横山俊一・三鍋昌俊 1970. 米質に及ぼす窒素施肥条件の影響. 2. 出穂揃期の窒素追肥量および収数を異にした場合における玄米の蛋白質含量について. 福井大教育紀要 V8: 1-11.
- 小田原孝治・松江勇次・比良松道一・和田信一郎 1992. 福岡県北部に分布する灰色低地土と黒ボク土産稲体の無機成分及びアミロース含有率の差異. 日作紀 61(別2): 47-48.
- 佐々木次郎・鶴田廣身・伊藤修 1993. 宮城県におけるササニシキの白米窒素含有率の変動. 1m² 当たり収数及び出穂期との関係. 日作東北支部報 36: 67-69.
- スネデカー・コ克蘭 1966. 統計的方法. 畑村又好・奥野忠一・津村善朗訳. 岩波書店, 東京. 267-275.
- 土屋隆生・上本哲 1988. 広島県内水稻主要品種の食味に関する研究. 第1報 中生新千本とアキツホの精白米のテクスチャーの地帯間差異. 広島農試報 51: 19-25.
- 山内富士雄・大内邦夫 1982. 北海道産米の化学成分組成に関する研究. 第1報 玄米化学成分と品種・栽培年次及び窒素施用量. 北海道農試研報 134: 127-132.
- 山下鏡一・藤本堯夫 1974. 肥料と米の品質に関する研究. 1. 肥料が米のデンプンの理化学的性質に及ぼす影響. 東北農試研報 48: 55-63.

Annual and Locational Variations in Physicochemical Properties of Rice : Souichiro IMABAYASHI, Takefumi OGATA and Yuji MATSUE* (*Fukuoka Agr. Res. Cent. Chikushino, 818-8549, Japan*)

Abstract : Annual and locational variations in the physicochemical properties of rice were studied in order to establish cultivation techniques for improving the quality of rice and to develop cultivars with high and stable palatability in any growth environment. Values of variance among years were smaller than those among cultivars in amylose content, maximum viscosity and H/A_3 . It was estimated that palatability in 1994 was better than other years judging from physicochemical properties. Values of variance among years were larger than those among cultivars in protein content, breakdown and $H/-H$. Variation among years in amylographic characteristics and amylose content was mainly affected by temperature during the ripening period. The influence of temperature during the ripening period on textural characteristics was little. A varietal difference of variation among years in physicochemical properties was also found. In addition, locational variation for H/A_3 , $H/-H$ and protein content was large, while it was small for amylose content and amylographic characteristics. It was concluded that large locational variation of H/A_3 and $H/-H$ was caused by variations in protein content, which was closely related to differences in the amount of nitrogen fertilizer applied. It was estimated that amylographic characteristics and amylose content were affected more by genetic background than by environmental conditions, resulting in small locational variation.

Key words : Amylographic characteristics, Amylose content, Annual variation, Locational variation, Protein content, Rice, Texture.
