

米の品質とその特性解析に関する研究

(研究課題番号 03660013)

平成4年度科学研究費補助金(一般研究C)
研究成果報告書

平成5年3月

田代 亨
(名古屋大学農学部)

平成4年度科学研究費補助金
(一般研究C)研究成果報告書

課題番号 03660013

研究課題 米の品質とその特性解析に関する研究

研究組織

研究代表者: 田代 亨 (名古屋大学農学部助教授)

研究分担者: なし

研究経費

平成3年度	1,800 千円
平成4年度	500 千円
計	2,300 千円

研究発表

学会誌等

- 田代 亨・渋谷周一・石川雅士・足立修士・今井 勝
穂上位置による米粒及び糊穀の変異
とくに、大きさと無機成分含量について
日本作物学会紀事 60巻(別号1):30-31. 1991年4月
- 田代 亨・石川雅士
栽培イネの種子寿命の品種間差異
-とくに種子形質について-
日本作物学会紀事 60巻(別号2):229-230. 1991年10月
- 田代 亨・岡町晃良・佐藤 光
イネの種子寿命と胚乳形質との関係
日本作物学会紀事 61巻(別号1):16-17. 1992年4月
- 田代 亨・久野寧子・石川雅士
生育時の日長条件がイネの種子休眠・寿命に及ぼす影響
日本作物学会紀事 61巻(別号2):229-230. 1992年10月

名古屋大学図書

和B 82609

目 次

1	まえがき	1
2	栽培イネの種子寿命の種間・種内間差異	3
3	イネの種子寿命と胚乳形質との関係	21
4	生育時の日長条件がイネの種子休眠・寿命に及ぼす影響	30
5	穂上位置による米粒及び粉殻の変異 とくに、大きさと無機成分含量について	42
6	緩効性窒素肥料が水稻の登熟および米の品質に及ぼす影響	61
7	引用文献	66
8	あとがき	71

1 ま え が き

今日、生活水準の向上に伴い米の消費動向は大きく変貌し、品質の高級化指向が拡大し、米の品質改善の要望が高まりつつある⁶¹⁾。また、食の多様化と簡素化が進んだ結果、米の調理・加工法も多様化し、これに適する食品素材としての米が要求されるにいたった^{26、62)}。これらに対応して米を多面的に解析し、その品質特性を評価する研究の推進が期待されている。

米の品質問題において、保蔵は生産と並んで重要な場面を持つ。とくに、保蔵は飯の食味と密接に関係している⁴⁵⁾。さらに米の安全性・健全性にも関わる問題を含んでおり、この面の研究の推進が期待されている。

本研究は、米の品質形成およびその保蔵の研究の新しい一環として、従来見過ごされていた特殊な米を含めた広範な材料の品質特性を解析・評価し、米の多角的有効活用のための基礎的情報を得ようとする研究である。また、本研究は広範な材料の品質特性調査を通じて保蔵性の優れたものを選別しその特性を解明し、米の生体防御機能を利用した新しい保蔵技術開発^{30、31)}のための基礎的情報を得ることをも指向した。

米の形態的形質に関する種生態的研究は広範な材料を用いて充分行われており、その分類化と遺伝的關係は整っている¹⁴⁾。この中で、米の品質特性の研究は多く存在するが、これらの内容は米飯を意識したもので、用いた材料もごく一部の品種である^{2-5、20-21、43-45、46-51、53-55)}。食品素材としての突然変異系統や在来系統を対象とした品質研究は緒についたばかりであり^{13、22-23、25、36、39、56)}、この面での研究領域の拡大が望まれている。

保蔵中における穀物の成分変化とそれを司る酵素の変動については、多くの研究が行われている^{1、16)}。とくに米粒の古米化過程については遊離脂肪酸の挙動との関連から詳細に明らかにされている⁵⁹⁻⁶⁰⁾。また穀物一般にわたって、保蔵性と外囲保蔵環境(温度、湿度、酸素など)との係わりあいについても充分研究が進んでいる^{24、29、33、57)}。しかしながら、種子自体が保持する内的要因と保蔵性の難易との相互関係についての知見は乏しく、わずかに種子の休眠性と保蔵性との関係が求められ、休眠性程度が強いほど保蔵性が良いと言う結果が得られているにすぎない^{27、29)}。しかしながら、この結果にたいしても両者間には関係がないとする報告³³⁾もあり、混乱している。このように保蔵性に影響を及ぼす種子が具備する内的要因については現象面での整理すら整っていないのが現状である。

著者らは、インド型と日本型の米について脂質の酸化について調べたところ、インド型の方が抗酸化性が大きいことを見いだした³⁰⁻³¹⁾。また、保蔵と食味との関係を検討した結果、保蔵中における米飯の食味の低下は主として硬さ、粘り

の物性の低下に因ることを示し、これは結合脂質の増加に起因することを明らかにした。さらに、呈味の悪化は遊離グルタミン酸の低下と遊離脂肪酸の増加にともなう炊飯液中のpH値の低下によることを見いだした。この反応は、インド型に比較して日本型の方が一層小さいことを示した⁴⁵⁾。

2 栽培イネの種子寿命の種間・種内間差異

2-1 種子形質との関係について

米の保蔵性は単に米飯の食味や健全性に関係するばかりでなく、食糧安保にも関わる問題をも含んでいる。

ところで、米の保蔵性を端的に示す指標として種子の寿命（ここでは、発芽維持能力と理解する）が用いられている¹⁶⁾。すなわち、種子の寿命が長いものほど貯蔵性が優れている。著者もこの考え方に準じて、ここでは種子の寿命に注目し、これの品種間差異を検討し、保蔵性の優れた材料を選別するとともに、種子の形態的要素・生理的要素・物理的要素の3要素を解析し、保蔵性の特性を把握することも意図した。

一般に成熟した種子は低い水分含量と低い代謝系を維持し、かつさまざまな環境ストレスに対して耐性を持った組織によって構成されており、生活環の中で最も安定した状態を保っている。また種子の発芽性は植物の種、品種・系統の間で明かに識別しうる遺伝的特性として理解されている。

ここでは、種子寿命の種間・種内間差異を求めるとともに種子形質との相関を把握することを意図した。イネの種子形質（粒径、腹白・心白の有無、胚乳組織の構造など）は、種子の発育過程で獲得された性質に左右されるが、本来遺伝的な形質である。

材料及び方法

1)材料

第2-1表に示したように本学の実験圃場にて同一耕種条件下で栽培収穫した日本型79品種、インド型35品種、それにジャバ型4品種の合計118品種を用いた。

2)発芽試験

成熟適期に収穫し、厳選した種子を30℃、70%の恒温恒湿に保存し、保存後3及び6ヶ月目に発芽率を調査した。発芽試験は11cmのシャーレに100粒を着床し、温度30℃の条件下で行い、発芽×切日は10日間とした。

3)玄米の外観的品質評価

脱穎した玄米100粒をシャーレにとり、腹白・心白の有無を調査した。各品種とも3反復して発現割合を求めた。

4)米粒の大きさの測定

脱穎した玄米を50粒つき、デジタルキャリパーを用いて米粒の粒長、粒幅、粒

厚を測定した。各品種とも3反復して粒径を求めた。

5)平衡含水量の測定

脱穎した玄米100粒を円筒型小型金網にとり、30℃の恒温と相対湿度を30%、50%、70%および90%調湿した外周環境を設定し、それぞれ条件下で平衡含水量に到達するまで保存し、粒重を測定した。各品種とも3反復して含水量を求めた。

結 果

1)品種群と保存時発芽率との関係

供試全品種につき保存後3ヶ月目及び6ヶ月目に発芽率を調査し、品種群別に類別化しその平均値を第2-2表に示した。保存時の発芽率はインド型品種が最も高く、ジャバ型、日本型の順に減じた。6ヶ月目の発芽率では日本型品種はインド型の4分の1程度であった。

インド型は品種群間の変異が大きく、原産地により大別いたしますとIR系統のフィリピン産品種群やAUS・BORO系統のインド・スリランカ産品種群は優り、日本型の陸稲に似た大粒種である中国北部系の品種群は劣った。

2)粒質と保存時発芽率との関係

心白・腹白発現の多寡は栽培条件により変動するものの本来遺伝的な形質である⁵⁾。胚乳部位にPorousな白色不透明部を持つこれらの粒質と種子寿命との関係について検討した。供試品種を心白・腹白発現の多寡により日本型、インド型いずれも大別し、それらの保存後3ヶ月目及び6ヶ月目の発芽率を第2-3表に示した。心白・腹白の発現の多寡と保存時発芽率との関係は各群内での変異が大きく明瞭な傾向は認め難かった。

3)粒重・粒形と保存時発芽率との関係

米粒の大きさの指標である100粒重と6ヶ月目の発芽率との関係を第2-1図に示した。日本型品種群内(1-6)では正の相関、インド型品種群内(7-12)では負の相関関係が見られますが、全体的に見ると不明瞭であった。また、第2-2図に示したように米粒の見かけの形状を示す長径/背腹径比との間には明らかな関連が見いだされ、長粒種ほど高い傾向を示した。さらに、粒径のうち横断面の形状を示す背腹径/横径比では粒重との関係と同様に日本型品種群内(1-6)では正の相関、インド型品種群内(7-12)では負の相関関係が見られるが、全体的に見ると不明瞭であった(第2-3図)。

4)平衡水分と保存時発芽率との関係

関係湿度70%における吸湿と放湿との差、いわゆる履歴効果による平衡水分値の差を求めて保存後6ヶ月目の発芽率との関係を第2-4図に示した。発芽率は平衡水

分値の差が小さいほど高い傾向を示した。水分環境下での吸水・脱水による水分変動が小さい品種群ほど種子寿命が優れるもとも言える。

2-2 休眠性との関係について

種子形質と種子の休眠性との相関をそれぞれ求めたことを意図した。イネの種子寿命および種子休眠性は、種子の発育過程で獲得された性質に左右されるが、本来遺伝的な形質である^{6-7, 9-12, 15, 28, 38, 40-42, 57-58}。

材料及び方法

1)材料

第2-4表に示したように本学の実験圃場にて同一耕種条件下で栽培収穫した、香り米・着色米を含む在来系統、および栽培種〔インド型 (Aus, Aman, Boro)、ジャバ型 (Bulu, Tjereh)〕の50種を用いた。

2)発芽試験

収穫直後に種子の発芽率を測定し、種子の休眠性を調査した。成熟適期に収穫し、厳選した種子を30℃、70%の恒温恒湿に保存し、保存後1ないし2ヶ月間隔で発芽率を追跡し、種子の寿命を調査した。発芽試験は11cmのシャーレに100粒を着床し、温度30℃の条件下で行い、発芽~~メ~~切日は10日間とした。

結 果

1)品種群と保存時発芽率との関係

種子の貯蔵中における種子発芽率の推移を第2-5図に示した。保存後、一定期間を経ると発芽率の低下が開始され、その後シグモイド曲線状に進行した。発芽率が50%まで低下するのに要する日数 (P_{50}) を算出し、この値で寿命の長短を評価した。調査材料の P_{50} を各範疇ごとに取りまとめた (第2-6図)。サティバ内ではインド型が最も寿命が長く、次いでジャバ型、日本型は短くインド型のほぼ半分であった。グラベリマは調査数が2点ほどであったが、インド型より寿命が幾分長かった。

2)品種群と成熟時発芽率との関係

出穂日後20日目から5日間隔で生種子 (上部一次枝梗4、5、6粒目) を採取し、その発芽率を調査した。その結果は第2-7図に示した。発芽が認められる時期は品種により大幅に異なるが、いずれのものも発芽開始後シグモイド曲線状にその割合

は高まった。発芽率が50%まで到達するのに要する日数 (D_{50}) を算出し、この値で休眠性程度の難易を評価した。

3) 保存時発芽率と成熟時発芽率との関係

インド型17品種について種子の寿命 (P_{50}) と休眠性 (D_{50}) との関係を求め、第2-8図に示した。休眠性程度、寿命ともに品種間で変異が大きく、両者の間には一定の関係は見いだされなかった。調査した全部試料の P_{50} と D_{50} とを各範疇ごとにとりまとめ、第2-9図に示した。グラベリマは休眠性、寿命ともに大きい群に属した。サティバ内ではインド型は寿命が長い、休眠性が比較的弱い群、日本型は寿命、休眠性ともに小さい群、ジャバ型は寿命は中間的であるが、休眠性は弱い群にそれぞれ区分された。

考 察

種子寿命について種間・種内間を比較した結果、グラベリマ種はサティバ種より優れていること、またサティバ種内ではインド型、ジャバ型、日本型の順に種子寿命が低下しすることを見いだした。さらに日本型品種内では、陸稲品種が水稲品種より優れているとともに、水稲品種内では早生種が優れ、次いで中生種、晩生種の順のものであることも明らかにした。この種子寿命の種間・種内間差異はこれまでの報告内容^{27, 34)}を再確認するとともに新たに新知見を加えることができた。

種子寿命と種子の形態的要素、生理的要素、物理的要素のとの相関関係をみると、心白・腹白の発現の多寡、粒重・粒径の大きさ、休眠性の難易との関係は栽培種全体で評価するといずれも明瞭な相関は認め難かった。しかし、栽培種を各品種群に区分し、評価すると各項目と相関関係が成立することがある。これは、種子寿命は品種群ごとに遺伝的に強く支配されることを示唆するものと理解される。これまでの報告の中に、種子の寿命と休眠性との間に相関が成り立つとする見解とそうでないとするものがある。この矛盾は対象材料の区分範囲に差異があったためと考えられる。本結果は、この矛盾を解決する手だてを提供したものと考えられる。

水稲の種子寿命には品種間差異が存在し、品種群間の種子寿命の優劣の関係は江幡ら⁴⁾が米飯のテクスチャーで得た結果と大枠で一致した。

発芽率の低下は種子の老化現象である。これまでに糖分の減少、油脂の酸化、蛋白質の不溶化、酵素活性の低下などが報告されている。また、ある種の代謝物質の蓄積が膜の半透過性を消失させ、これが老化を促すとの見解もある¹⁶⁾。今後はさらに胚活性と可食部である胚乳の成分変化(品質変化)との相関関係を

追求する必要があると思われる。

第2-1表 供試品種

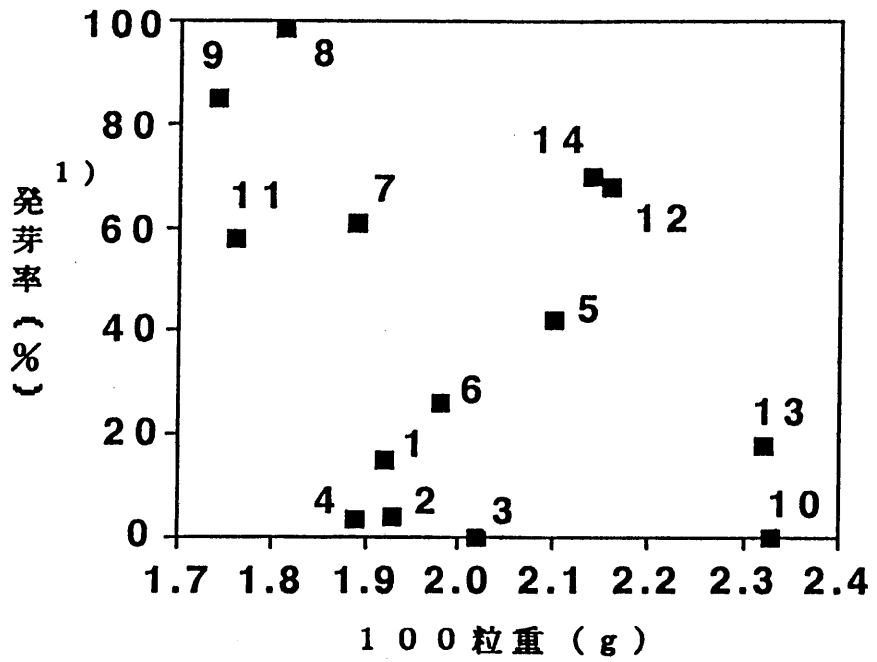
品種群の分類		試料数	略称	備考	
日本型 水稲	粳	早生	17	1	
		中生	23	2	
	糯	晚生	21	3	
			13	4	
陸稲	粳	3	5		
	糯	2	6		
インド型					
米 国	粳	6	7	改良種	
フィリピン	粳	7	8	改良種	
インド・スリランカ	粳	11	9	在来種	
中国 北部	粳	4	10	在来種	
中国 中・南部	粳	5	11	在来種	
	糯	2	12	在来種	
ジャワ型	粳	3	13		
	糯	1	14		

第2-2表 栽培イネの種子寿命の品種間差異

品種群の分類	試料数	発芽率(%)									
		保存後3ヶ月目				保存後6ヶ月目					
		平均	標準偏差	最大	最小	平均	標準偏差	最大	最小		
日本型											
水稲											
早生	17	66.1	32.1	99.1	4.6	15.0	23.7	82.6	0		
中生	23	32.8	28.9	97.3	2.8	4.2	11.3	45.6	0		
晩生	21	17.0	17.8	66.0	0	0.1	0.2	1.0	0		
糯	13	55.8	29.0	98.0	5.1	3.7	10.4	39.0	0		
陸稲											
梗	3	85.0	7.7	95.2	76.5	42.4	31.1	83.7	8.8		
糯	2	94.2	-	94.2	90.3	25.9	-	37.8	14.0		
インド型											
米国											
梗	6	69.5	41.9	100	2.9	60.8	43.2	96.4	0		
フィリピン											
梗	7	98.9	1.1	100	97.0	98.4	1.9	100	94.3		
インド・スリランカ											
梗	11	98.2	3.5	100	87.9	85.1	27.2	100	11.3		
中国 北部											
梗	4	41.6	12.6	54.9	21.6	0	-	-	-		
中国 中・南部											
梗	5	98.6	1.6	100	95.0	58.0	36.8	100	12.8		
糯	2	99.1	-	99.1	99.1	67.6	-	99.1	36.1		
ジャワ型											
梗	3	65.4	17.0	83.5	42.7	18.0	14.3	35.1	0		
糯	1	89.0	-	-	-	70.0	-	-	-		

第2-3表 栽培イネの種子寿命と粒質との関係

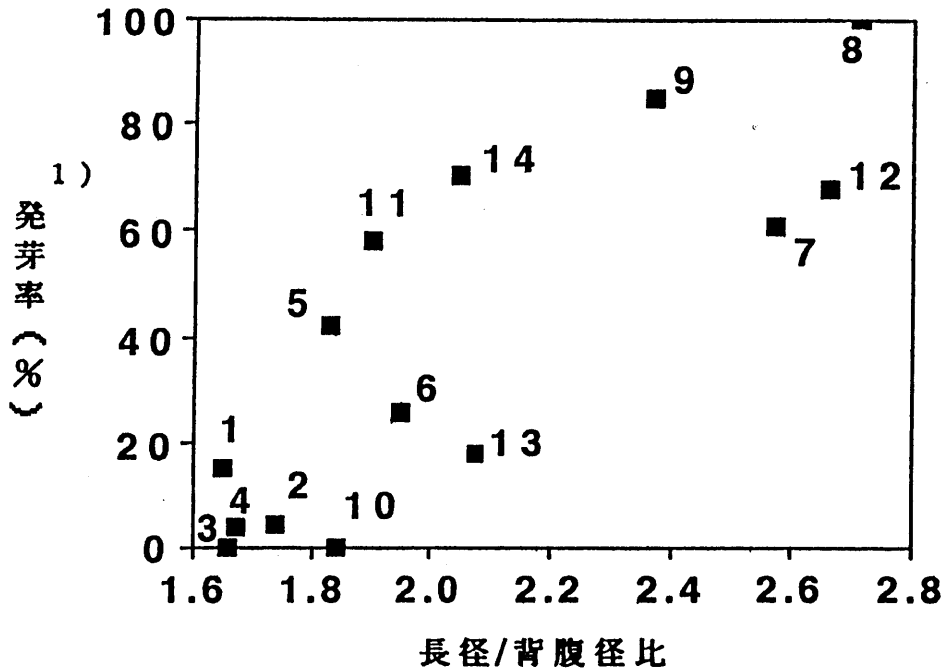
粒質の分類	試料数	発芽率(%)								
		保存後3ヶ月目				保存後6ヶ月目				
		平均	標準偏差	最大	最小	平均	標準偏差	最大	最小	
日本型品種										
心白米	50%以上発現	6	40.0	31.6	96.0	7.6	4.2	9.3	25.0	0
腹白米	50%以上発現	12	42.1	36.5	97.3	0	10.6	18.9	53.9	0
腹白米	25-50%発現	12	32.8	31.6	99.1	0.9	7.1	22.8	82.6	0
腹白米	5-25%発現	13	27.4	24.3	96.6	3.1	2.1	7.4	27.7	0
腹白米	5%以下発現	17	42.2	36.4	97.9	0	5.1	11.9	48.9	0
インド型品種										
心白米	50%以上発現	5	83.2	30.8	100	21.6	66.4	37.5	100	0
腹白米	50%以上発現	10	89.7	19.0	100	49.0	75.3	38.9	100	0
腹白米	5%以下発現	14	93.2	20.8	100	18.4	83.4	31.8	100	0



第2-1図 粒重と種子寿命との関係

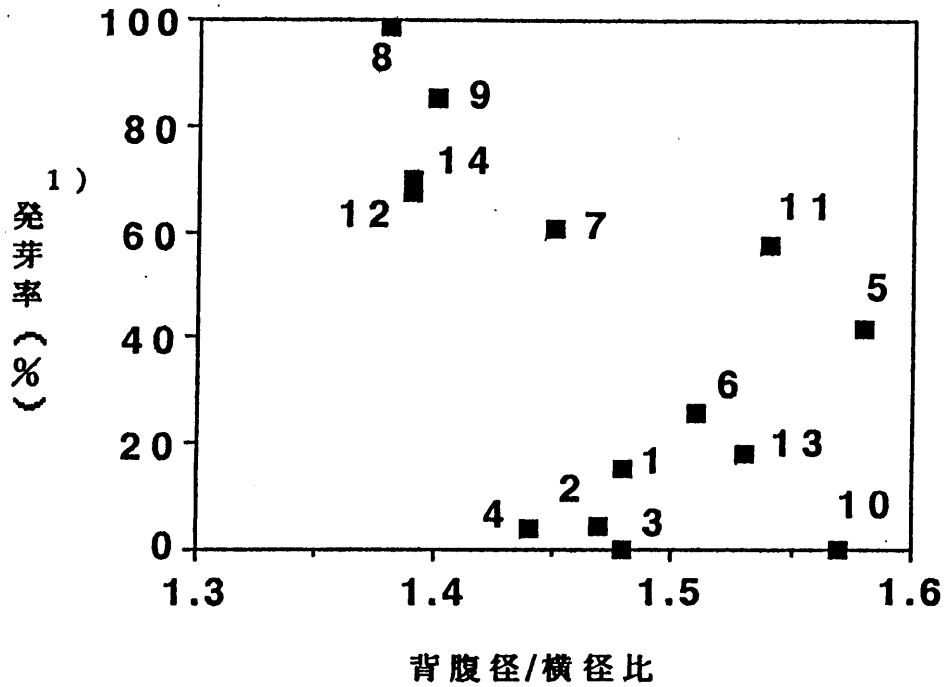
図中の数字は各品種群を示す (第1表参照)

1) 保存後6ヶ月目の材料



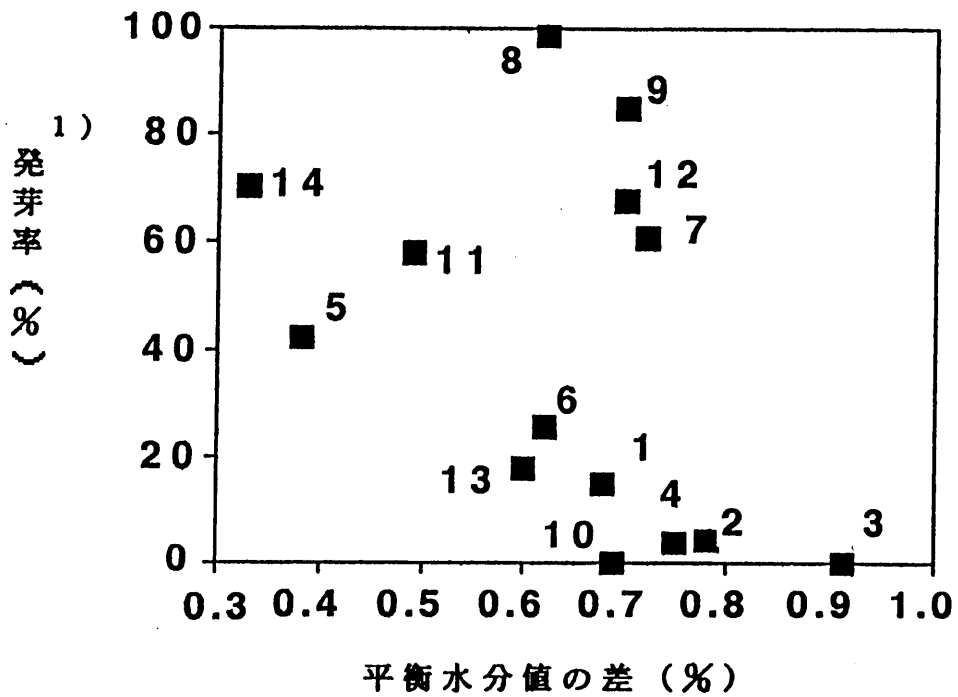
第2-2図 長径/背腹径比と種子寿命との関係
 図中の数字は各品種群を示す (第1表参照)

1) 保存後6ヶ月目の材料



第2-3図 背腹/横径比と種子寿命との関係
 図中の数字は各品種群を示す (第1表参照)

1) 保存後6ヶ月目の材料

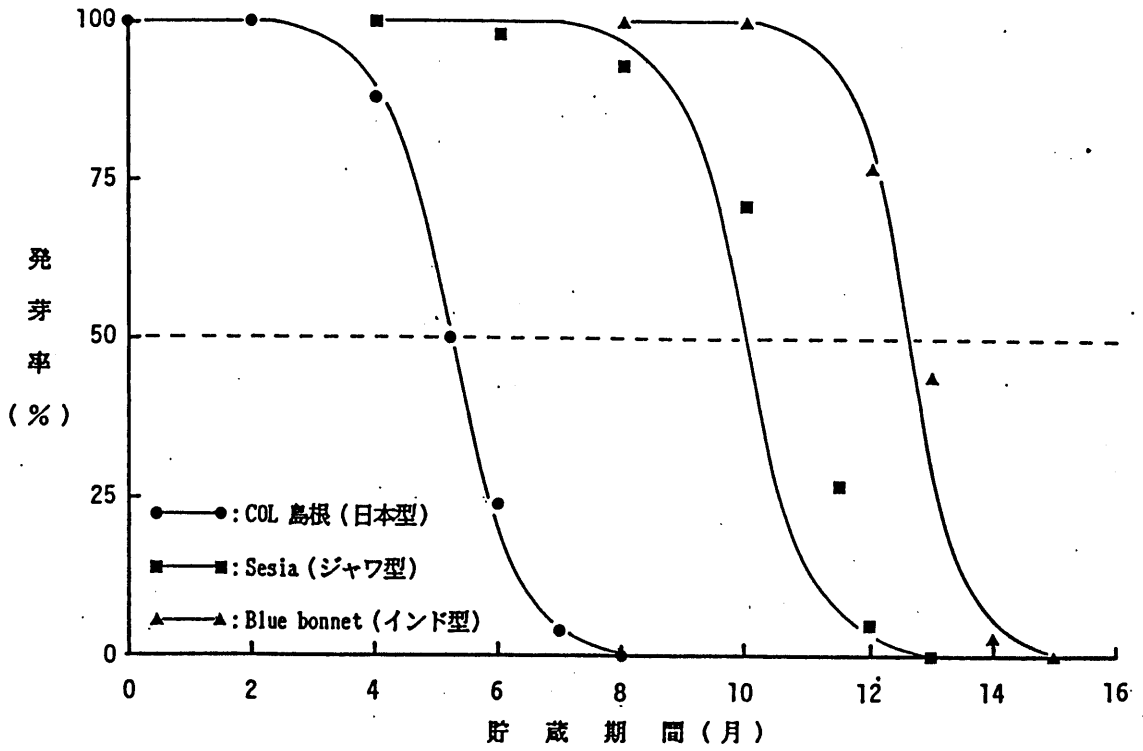


第2-4図 履歴効果による平衡水分値の差と種子寿命との関係
 図中の数字は各品種群を示す (第1表参照)

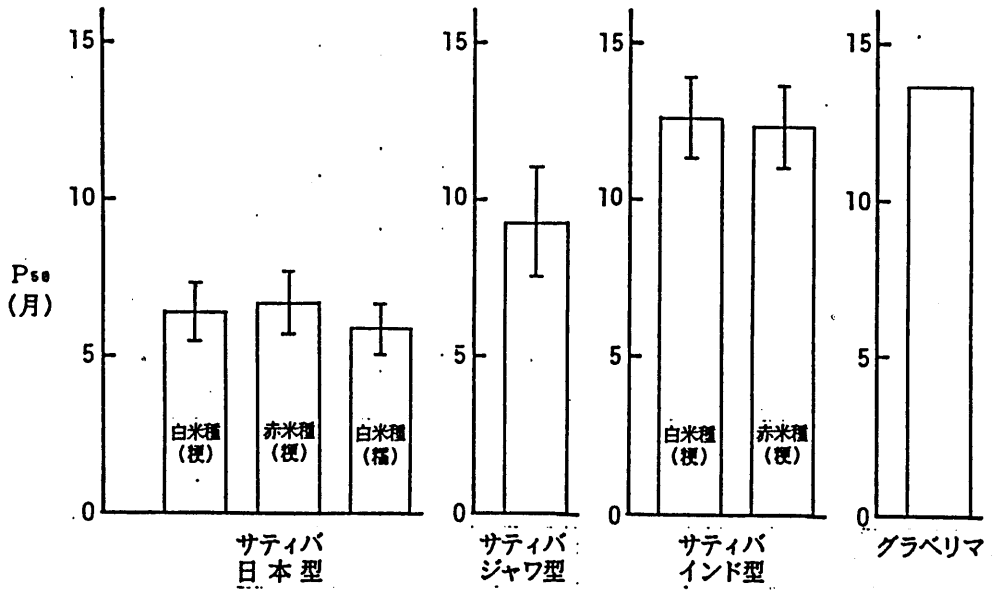
1) 保存後6ヶ月目の材料

第2-4表 供試品種

種	試料数	備考	
サティバ	日本型		
	白米種		
	粳	5	在来種
	糯	5	在来種
	赤米種		
	粳	6	在来種
	ジャバ型	5	改良種
インド型			
	白米種	8	改良種
	赤米種	9	
グラベリマ	2		

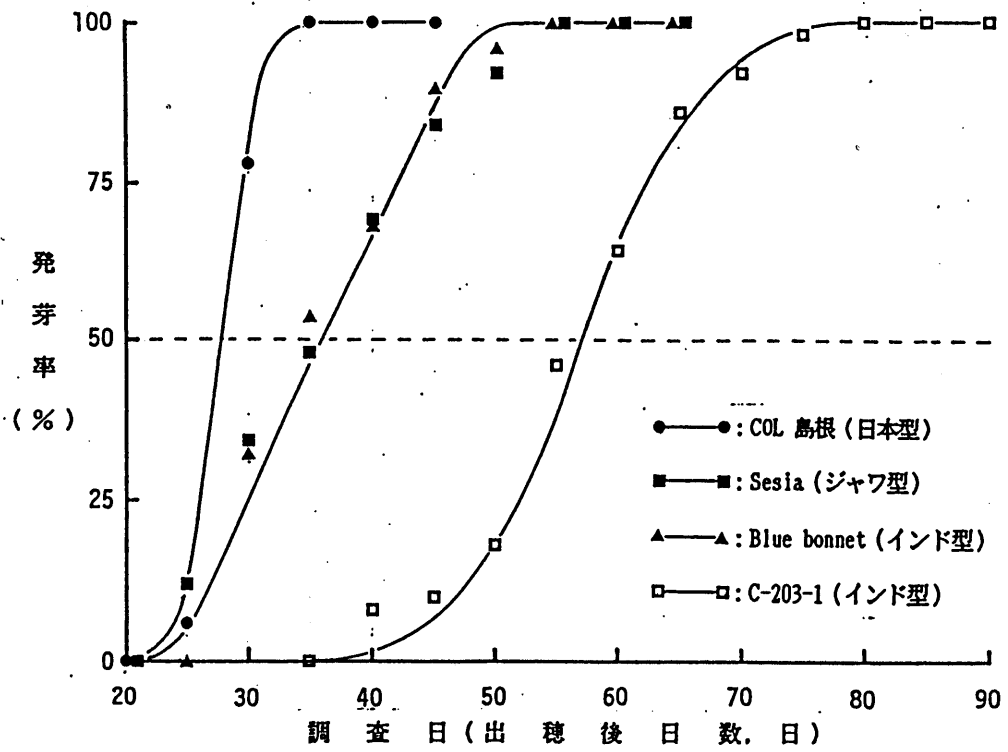


第2-5図 貯蔵中における発芽率の推移

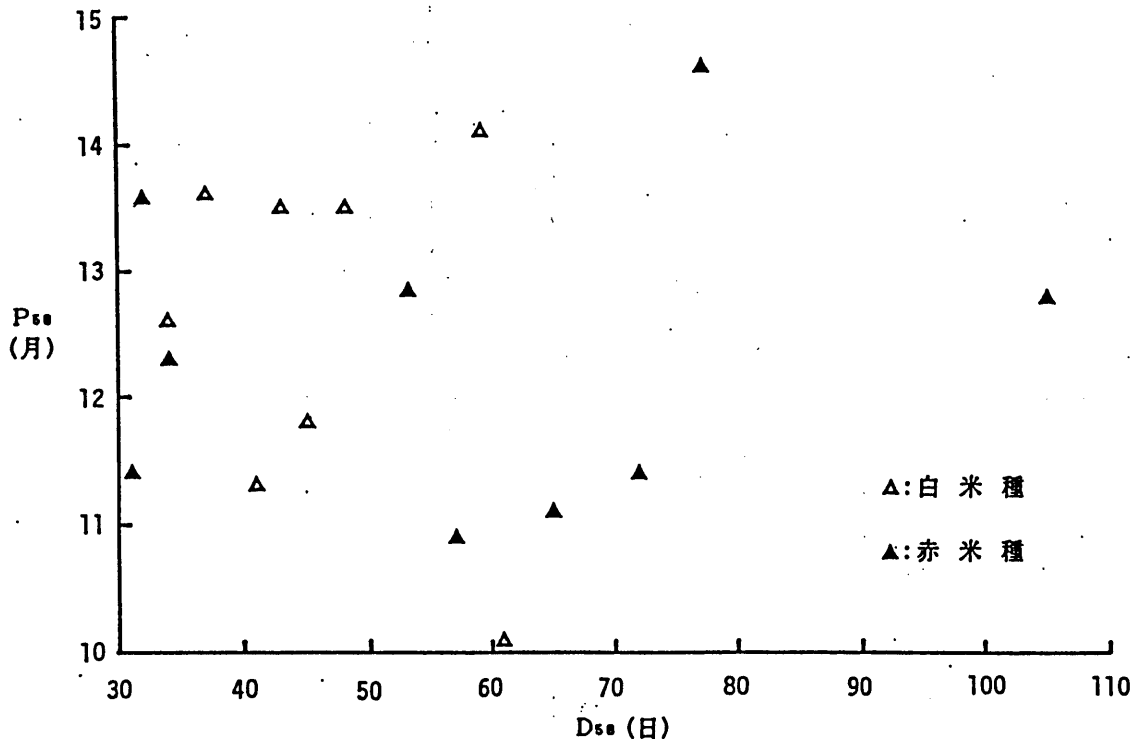


第2-6図 栽培イネの種子寿命の種間差異・種内間差異

P50 : 発芽率が50%まで低下するのに要する日数.



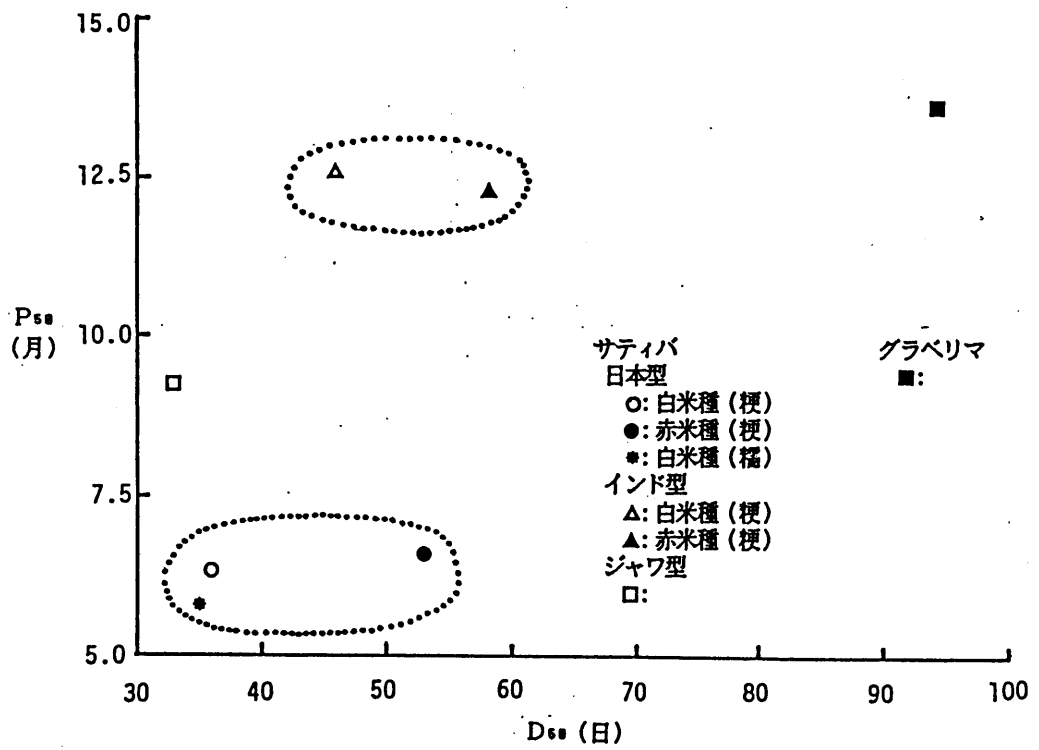
第2-7図 種子の発育各時期の発芽率の推移



第2-8図 インド型栽培イネ種子の休眠性 (D₅₀) と寿命 (P₅₀) との関係

D₅₀ : 発芽率が50%まで到達するのに要する日数.

P₅₀ : 発芽率が50%まで低下するのに要する日数.



第2-9図 栽培イネ種子の休眠性 (D₅₀) と寿命 (P₅₀) との関係

D₅₀ : 発芽率が50%まで到達するのに要する日数.

P₅₀ : 発芽率が50%まで低下するのに要する日数.

3 イネの種子寿命と胚乳形質との関係

ここでは、前述した内容と同様にイネの胚乳形質突然変異系統の種子寿命を求め、胚乳形質との関係について検討した。

材料及び方法

1)材料

水稻品種金南風を母本種とした胚乳形質突然変異系統の準ISO-GENICI LINEを用いた(第3-1表)。これは穂浸漬法による受精卵のメチルニトロソウレア(MNU)処理によって作出された³⁷⁾。

実験材料は6月12日、名古屋大学農学部内の実験用水田に、30x15cmで1株3本植えて移植した。施肥条件は本学の慣行に準じて行った。各系統ともに、成熟期に適時に収穫した。移植した籾は十分に乾燥した後、脱穀・調整し実験に用いた。

2)休眠性・寿命の評価

種子の休眠を評価するために出穂後5週間目に収穫し、室内に3日風乾した籾を用いて発芽試験を行った。種子寿命を評価するために、厳選した種子を恒温恒湿(30°C、70%)に貯蔵し、1ないし2カ月間隔で発芽率を調査した。発芽試験は11cmのシャーレに100粒を置床し、温度30°Cの条件で行い、締切日は10日間とした。

3)米粒の比重測定

米粒の比重は水銀を用いて測定した。この方法は、まず粒重を測定した後、水銀中に米粒を沈めて再度粒重を測定し比重を算出した。発育が良好な米粒を各系統15粒ずつ測定し平均値を求めた。

4)米粒の大きさの測定

収穫した穂のうち稔実度が良好な穂を厳選し、各系統とも一次枝梗数の最も多い穂を選別した。中部枝梗の一次枝梗の4、5、6粒目の発育が良好な種子を6-8粒選び、デジタルノギスを用いて米粒の粒長、粒幅、粒厚を測定した。各系統につき5反復行った。

5)胚の大きさの測定

厳選した種子の籾殻を剥ぎ、さらに発育が良好であった玄米を選別し、実体顕微鏡下で眼科用メスを用いて胚と胚乳とを分離し、各々の重量を測定した。各系統につき20粒ずつ行った。

6)窒素・炭素含量の測定

玄米を粉碎後、CNコーダー(MT-500型、株式会社柳本製作所)を用いてそれぞれ測定した。

結 果

1) 胚乳形質突然変異系統の出穂日

各突然変異系統の出穂日及び稲体の外観を示した。出穂日は8月17-28日までの10日間に集中していた。また、稲体の姿勢には系統間差異は認められなかったが、葉身色がもち系統のE51と心白系統EM13とで薄黄緑色であった(第3-1表)。

2) 胚乳形質突然変異系統の米粒の外見的特徴

供試した各胚乳形質突然変異系統の米粒および粃殻の諸属性を第3-2表に示した。

もち系統：従来のもちと全く同じ特徴を有し、粒は白色不透明で硬い。ヨード反応を示さない。

粉質系統：でんぷん層がすべて白色不透明で、もちとの区別が困難である。しかし、もちはりよく化するまではうるちと区別できないのに対し、乾燥前から白色である。でんぷん層は脆くて砕け易い。比重が正常粒に比べて軽い。ヨード反応を示さない。

心白系統：胚乳の中心部が白色化するので白色化部は脆くて砕け易いが、周辺部は硬くて砕け難い。比重が正常粒に比べて軽い。

dull系統：もちと同じく硬くてりよ化後白色不透明になる。もちとは異なりヨード反応を示すが、その程度はうるち程強くない。

巨大胚系統：粒の形や大きさは正常粒とほとんど変わらないが、胚が極めて大きく、重量で正常胚の2-3倍に達する。

3) 種子寿命と胚乳形質との関係

貯蔵中における種子発芽率の推移を第3-1図に示した。貯蔵後、一定期間を経ると発芽率の低下が開始され、その後シグモイド曲線状に進行した。発芽率が50%まで低下するのに要する日数(P_{50})を算出し、この値で種子寿命の長短を評価した。11系統の P_{50} を求め、各形質ごとに取りまとめた(第3-2図)。うるち系統内では、母本種及びdull系統が最も寿命が長く、次いで心白系統、粉質・巨大胚の両系統は短く母本種のほぼ半分であった。

4) 種子寿命と米粒比重との関係

種子寿命と米粒比重との関係を求めた(第3-3図)。種子寿命の短い系統ほど米粒比重が低かった。POROUSな白色不透明部を持つ心白及び粉質の両系統は発芽能力の喪失が速いと解釈される。巨大胚系統の種子寿命は心白系統のものに比較して劣った。巨大胚系統の胚乳充実度は心白系統に比べ一層良好である。このことは、胚の大きさも種子寿命に少なからず影響することを示唆するものである。

5) 種子の寿命と休眠性との関係

11系統について種子の寿命 (P_{50}) と休眠度との関係を求め、第3-4図に示した。うるち系統内では、母本種及びdull系統は種子の休眠度、寿命ともに大きい群に属した。粉質・巨大胚の両系統は種子の寿命、休眠性ともに小さい群、心白系統は種子の寿命が比較的大きい、休眠度は弱い群にそれぞれ区分された。また、もち系統はdull系統と粉質系統の中間に位置付けられた。

考 察

ここでは、胚乳突然変異系統を用いて種子形質における生理的、形態的、化学的要因がイネの種子寿命に及ぼす影響を明らかにするために金南風の準Iso-genetic lineを用いて検討を加えた。

生理的要因については、種子の休眠度の関係を調べた。この結果、休眠度と種子寿命とは正の相関関係が成り立った。これは、種子は休眠によって組織内の老化が遅らされていることを示唆するものである。

形態的要因については、胚の大きさと米粒の比重との関係を調べた。この結果、胚が大きい系統ほど、種子寿命は短いという関係が得られた。これは、胚の中の酵素が胚乳組織の老化を促しているためであると考えられた。また、米粒比重が低いPOROUS白色不透明部^{48-49, 55)}を持つ系統は、その部分が水を保持しやすい構造になっているため、容易に酵素活性が高まり、呼吸によりでんぷんなどの米粒成分の消費が大きくなるためと考えられた。また、巨大胚系統では胚と胚乳との境目には粉状の物質（糖であると考えられる）が多量に沈着していた。糖はでんぷんは糖とは違い水溶性であるので、種子のエネルギーとして使われやすいので穂発芽（休眠性極易）したり、老化しやすやすく、巨大胚系統は種子寿命が短くなるのではないかと考えられた。

化学的要因については、窒素及び炭素の含有量との関係を検討した。この結果、窒素及び炭素については種子寿命の長短には余り関係が無いということが判った。しかし、本研究においては、化学的要因について窒素及び炭素のみに着目したに留まったが、他の成分が種子寿命の長短に関係しないとは必ずしも言い切れないので、今後の研究に期待されよう。

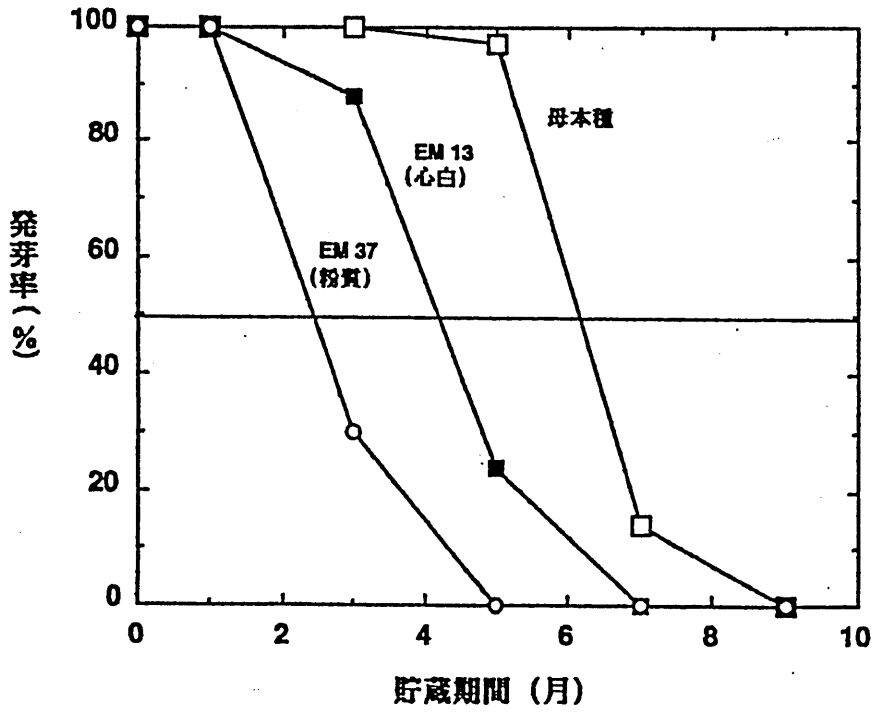
以上をまとめると、種子寿命の長短には種子休眠度、胚乳組織の構造、胚の大きさの3つの要因が関係していることが明らかにされた。

第3-1表 供試した胚乳形質突然変異系統

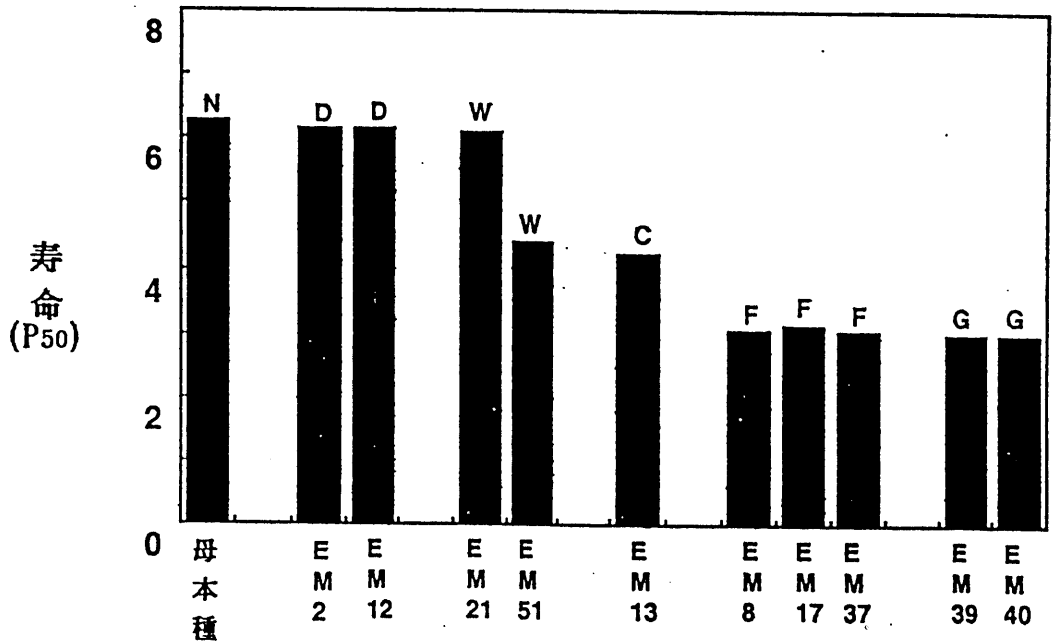
胚乳形質	系統名	出穂日	備 考	略 称
金南風(母本種)		8月25日	うるち	N
も ち	EM 21	8月24日		W
	EM 51	8月24日	葉色が薄黄緑色。	W
粉 質	EM 8	8月26日		F
	EM 17	8月24日		F
	EM 37	8月28日		F
心 白	EM 13	8月24日		C
	EM 38	8月17日	葉色が薄黄緑色。心白部分が大。	C
dull	EM 2	8月26日		D
	EM 12	8月24日		D
巨大胚	EM 39	8月28日		G
	EM 40	8月24日		G

第3-2表 胚乳形質突然変異系統の米粒及び初殻の大きさ

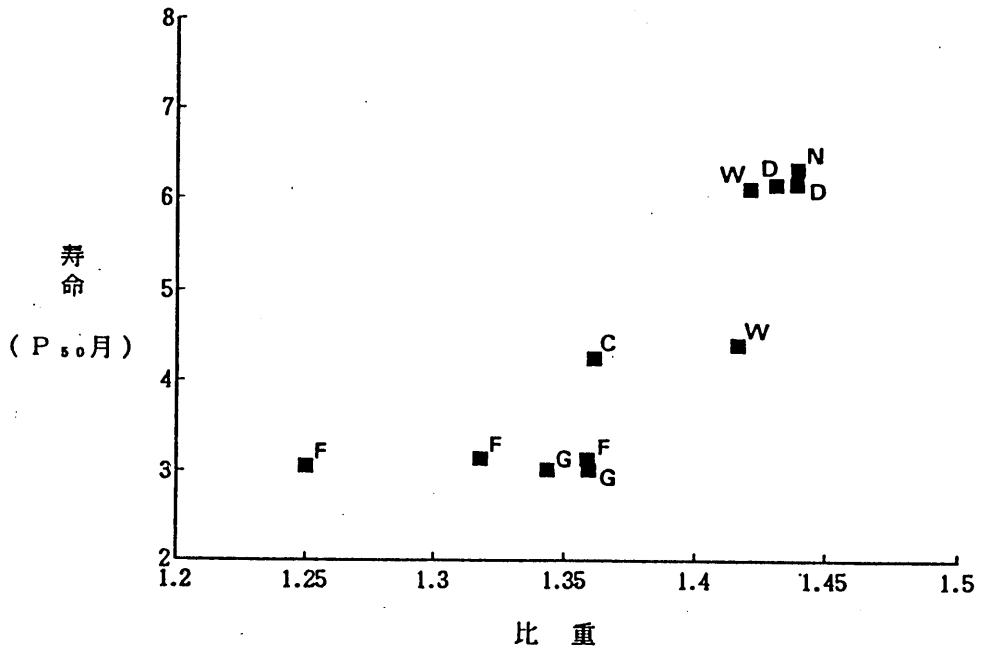
胚乳形質	系統名	粒 径					粒 重 mg/粒	初殻重 mg/個	初殻比 %	胚 重 mg/粒	胚割合 %	比 重	米 粒	
		長さ(L)	幅(W)	厚さ(T)	L/W	W/T							N	C/N
		mm											%	
金南風 (母本種)		5.07	2.97	1.99	1.71	1.50	20.5	4.12	16.8	0.60	3.1	1.44	1.35	30.2
もち	EM 21	5.22	2.90	2.00	1.80	1.45	20.2	4.44	18.0	0.63	3.4	1.42	1.35	30.1
	EM 51	5.11	2.79	1.87	1.83	1.49	17.9	4.13	18.8	0.65	3.9	1.42	1.72	23.6
粉 質	EM 8	5.05	2.83	1.96	1.79	1.45	19.2	4.10	17.6	1.29	6.7	1.25	1.54	27.1
	EM 17	5.79	2.91	1.96	1.99	1.49	19.9	4.45	18.3	0.90	4.8	1.32	1.43	28.3
	EM 37	5.06	2.78	1.84	1.82	1.51	16.5	4.00	19.6	0.58	3.6	1.36	1.29	31.3
心 白	EM 13	5.30	2.63	1.74	2.02	1.51	16.0	3.66	18.6	0.62	3.7	1.36	1.37	28.5
	EM 38	5.32	2.91	1.97	1.83	1.48	19.6	4.16	17.6	0.90	4.6	1.35	1.62	26.4
dull	EM 2	4.89	2.77	1.92	1.77	1.44	17.8	3.52	16.6	0.55	3.4	1.44	1.34	30.4
	EM 12	5.21	2.75	1.98	1.90	1.39	19.4	4.07	17.4	0.63	3.4	1.43	1.44	28.3
巨大胚	EM 39	5.36	2.93	1.93	1.83	1.52	19.2	3.99	17.2	1.59	8.8	1.36	1.34	29.8
	EM 40	5.23	2.93	1.85	1.79	1.58	16.6	3.98	19.4	1.33	8.3	1.34	1.43	28.7



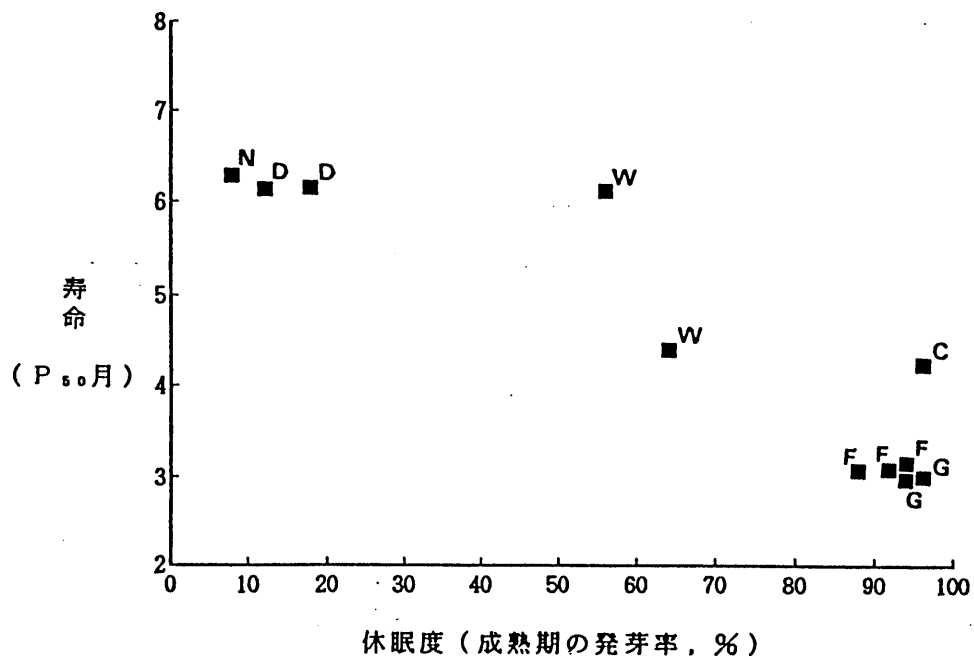
第3-1図 貯蔵中における種子発芽率の推移



第3-2図 胚乳形質突然変異系統種子の寿命



第3-3図 胚乳形質突然変異系統種子の寿命と米粒比重との関係



第3-4図 胚乳形質突然変異系統種子の寿命と休眠度との関係

4 生育時の日長条件がイネ種子の休眠・寿命に及ぼす影響

種子の発芽性は植物の種、品種・系統の間で明かに識別しうる遺伝的特性として理解されている。しかし、同時に種子の発芽性は自然条件下での気象の年次変動や季節的あるいは地理的差異、さらに人為的な変異条件下で著しく変動することが認められている。最近この変動は種子の形成過程や形成後の環境条件によって誘起されることが次第に明らかになり、種子発芽性の環境に対する変異の様相が注目されるようになった。環境条件としては水、温度、土壌、栄養分などが挙げられ、実際これらの方面から研究されているものが多い⁴¹⁾。しかし、日長条件と種子の形質の関係を研究したものはほとんど見受けられない。

周知のように、地理的位置の関係で各地の日長条件には差があり、これらの差は植物の開花現象を支配する重要な要因となっている。本研究はこのような背景のもとに、日長条件がイネの種子形成を通じて次代への影響、とくに発芽特性（休眠性・保蔵性）に及ぼす影響を調べると共に光条件に対する感受性の高い生育時期、さらに日本型とインド型の反応性の差異を明らかにしようとするものであり。

水稻種子の発芽に関しては、現在まで多数の研究があり、親植物の生育環境と次世代種子の性質についての報告も多いが、環境要因として日長条件と次世代種子に発芽性について研究したものは比較的少ない^{12、28、35)}。

材料及び方法

1)材料

日本型品種の越路早生とコシヒカリ及びインド型のDharialを用いた。日長処理開始日の6月14日に5葉期の苗を1株1本として1/5000aポットに2株を移植した。移植時に、化成肥料(2-6-4)を1g施肥し、最高ぶんけつ期に0.5gを追肥した。

2)日長処理

日長処理には、日長処理装置付き野外植物育成装置を使用した。短日は明期8時間(温度30℃)と暗期16時間(温度20℃)であり、明期は午前8時から午後4時までの時刻である。長日は明期16時間(温度30℃)と暗期8時間(温度20℃)であり、明期は午前4時から午後8時までの時刻であり、日没後は250Wの陽光ランプ4個を用いて補光した。日長処理の生育時期は7葉期、9葉期、12葉期及び出穂期とし、第4-1表に示したような月日に短日及び長日の処理装置に搬入し、成熟期まで栽培した。

3)アミラーゼ活性

粗酵素液の抽出法：玄米8粒を1mlのホモゲナイズ緩衝液（100mM Tris/HCL pH 7.6、10mM CaCl₂、0.1% Triton x-100）にて摺りつぶし、その後エッペンドルフチューブに入れ 15000rpmで10間、4°Cにおいて遠心し、上澄液を粗酵素液とした。

基質の調整：1gのstarch azureを50mlのNaOAC緩衝液（50mM NaOAC pH 5.2, 10mM CaCl₂）に加え振とうしながら10分間煮沸させ、その後冷却し基質とした。

分析手順：エッペンドルフチューブに100 μlの粗酵素液を入れ、0.6mlの基質を加えて37°C下で振とうし20分後に50% TCAを200 μl加え反応を停止させた。12000 rpmで5分間遠心し、500 μlを採取して595nmの吸光度を測定した。

4)発芽試験 前章に準じて行った。

5)米質調査 前章に準じて行った。

結 果

1)日長条件とイネの生育状況

主稈葉数は短日処理により減少し、長日処理により増加し、とくに7葉期・9葉期に処理した場合この傾向が強かった（第4-1図）。主稈長は両処理により増大したが、この割合は長日処理に比較し短日処理で一層大きかった（第4-2図）。

2)日長条件とイネの登熟状況

短日処理はいずれの時期も不稔を多発させ、死米の発生も12葉期・出葉期の処理で顕著に高めた。この結果、短日処理は完全米の割合を著しく低下させ、出穂期処理では40%ほどであった（第4-2表）。米粒の大きさは短日・長日の両処理により増加するが、この割合は長日処理に比べ短日処理で大きく、また若令期処理ほど大きかった（第4-3表）。

3)日長条件と発芽特性

種子の休眠性及び寿命性の程度は成熟時及び貯蔵時の発芽率でそれぞれ評価した。成熟時の発芽率は若令期処理で得た種子ほど低く、また長日処理で得た種子に比べて短日処理で得たものほど高かった（第4-3図）。品種別にみると、越路早生の発芽率が高く、次いでコシヒカリであり、遺伝的に休眠性の強いDharialは成熟時に両処理区ともに発芽が認められなかった。また、両処理区間での発芽率は越路早生に比べコシヒカリで大きかった。さらに、脱穎粒の発芽率は品種間の差異と長短の両処理区間での差異の消失を示した（第4-4表）。貯蔵時の発芽率は長日処理を与えた種子に比較して短日処理を与えた種子で低かった（第4-4表）。このことは休眠性の大きいものほど、発芽能力の喪失が遅いと解釈され、生育過程で獲得された生理的要因が種子寿命を支配していることが明らかになった。

4) アミラーゼ活性

アミラーゼ活性は長日処理いづれもほぼ一定の値を示し、処理時期による影響は認められなかった。一方、短日処理では時期により影響を受け、若令期処理ほど高まる傾向を示した。アミラーゼ活性と種子の休眠性とは正の強い相関関係が成立した(第4-4図)。

考 察

種子は生活環をつなぎ次世代植物の生存と繁殖とを保証する役割を持ち、植物の生育に不適當な環境に耐えうる構造と機能とを具備している。この観点からすれば、種子はきわめて環境ストレスに耐性を持つ状態を維持しているように思える。しかし、種子形成期の条件をはじめ形成後の条件によって発芽性が著しく変動する。この変動は外部環境の変化に対し生ずるいわゆる可塑的変異であるが、この可塑的な変異性によって環境ストレスに対応していると考えられる。発芽性が種子形成期の条件によって変化する例として休眠性程度の変動が挙げられる。本来休眠は幼植物の生育に不適當な環境下で、種子胚の活動が抑制されている状態であり、休眠の誘導、打破、消失は自然界における季節的な気象の変遷や植物の地理的分布と密接な関係を持っている。

岩崎¹²⁾、太田ら²⁸⁾は短日処理した水稻より得られた種子は自然日長下で採取したものより発芽が早まることを認めている。本研究でもこの点を確認することができた。本実験によると、短日処理を行うと不稔が多く発生し、その結果一穂当りの粒数が減少し一粒当りの光合性産物の供給が増し一粒重が増大した。このような充実の優れた粒は不良環境ストレスに対して耐性を持つと考えられるが、このことが休眠が弱くなることと関係するものと推察される。一方、長日処理から得た種子は充実が悪く(背白米が多発生)このような種子は、不良環境ストレスに対して耐性が弱いものと考えられる。不良環境条件下での生育回避のための方策として休眠が強くなるものと推察される。アミラーゼの測定結果で短日処理区が長日処理区に比べ高い活性を示したが、このことも短日処理により得た種子の発芽し易いことを傍証するものと考えられる。

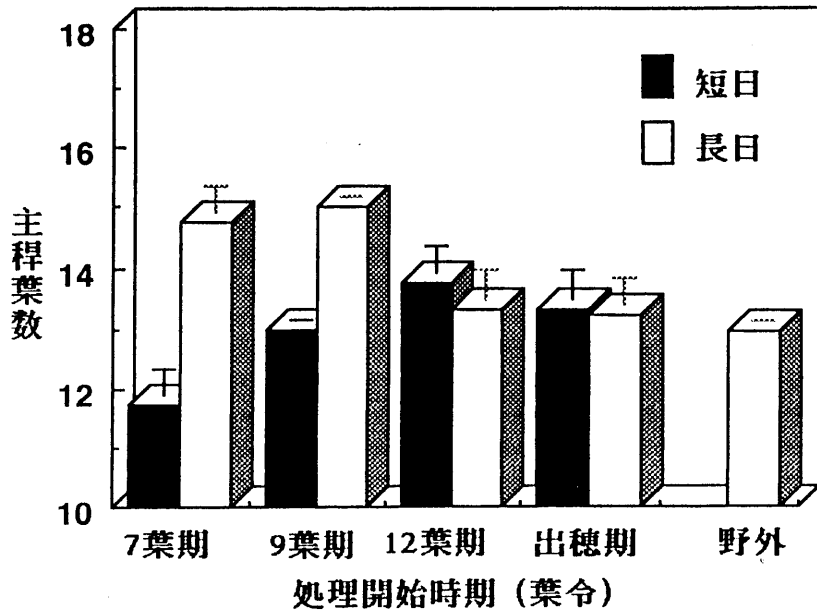
籾粒と脱穎粒とで発芽率を比較した結果、脱穎の効果に差異がみられたが、脱穎効果の大きいもの(Dharial)は包被組織の物質不透過性に原因する休眠ではないかと推察される。一方、効果の少ない品種(コシヒカリ)は胚を取り巻く膜構造の酸素透過性³²⁾に原因する休眠ではないかと推察される。

圃場レベルでの実験結果では、水稻の早生品種は穂発芽を発生し難く、かつ粒重が小さいが、晩生品種は穂発芽を発生し易く、かつ粒重が大きいことを認めて

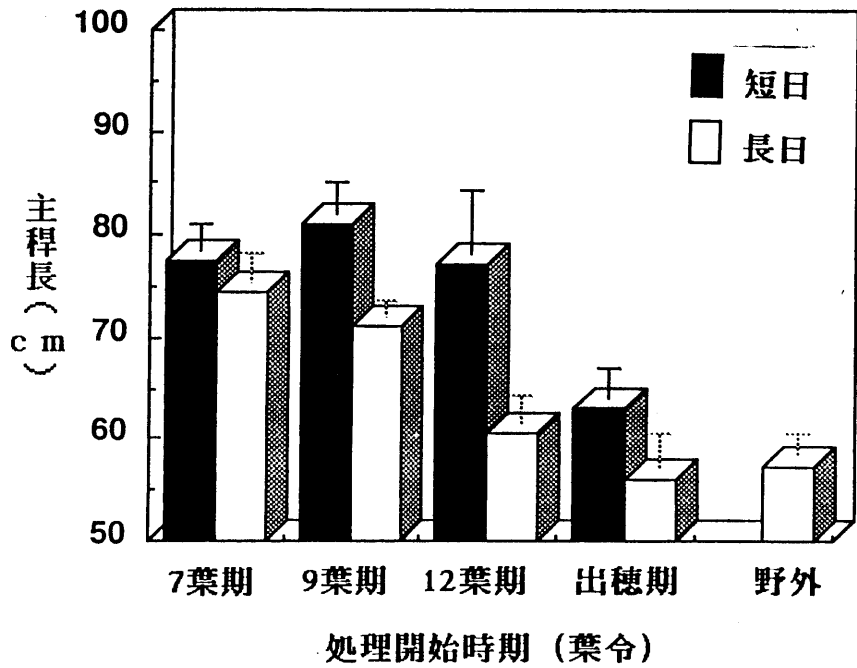
いる。また、早生品種は晩生品種に比べ種子寿命が長い。早生品種の登熟環境条件は高温・長日であり、晩生品種の登熟環境条件は低温・短日である。すなわち、早生種は種子発芽し易い登熟条件下にあり、晩生種は種子発芽し難い登熟条件下にある。イネは南方から北方へと伝播する過程（登熟期間が長日から短日へ移行）で休眠性を消失し登熟環境に適応してきた。早生種の登熟期は長日条件にあるが、本実験結果によると長日処理を行うことにより休眠が強くなり、短日処理を行うことにより休眠が弱くなることが明らかにされたが、この結果は前述の現象を傍証するものと言えよう。しかし、本研究では休眠誘導を左右する重要な条件である温度条件は一定であるため温度に関しては更に検討を要すると思われる。

第4-1表 日長処理開始時期と出穂日との関係(品種 越路早生)

処理開始時期		処理区	出穂日	
葉令	月 日		月 日	月 日
7葉期	6月19日	短日	7月31日	
		長日	8月12日	
9葉期	6月27日	短日	8月 2日	
		長日	8月16日	
12葉期	7月15日	短日	8月12日	
		長日	8月 7日	
出穂期	8月 6日	短日	8月 6日	
		長日	8月 6日	
野 外			8月 6日	



第4-1図 日長処理開始時期が主稈葉数に及ぼす影響
(品種 越路早生)



第4-2図 日長処理開始時期が主稈長に及ぼす影響
(品種 越路早生)

第4-2表 日長処理の開始時期が米質¹⁾に及ぼす影響(品種 越路早生)

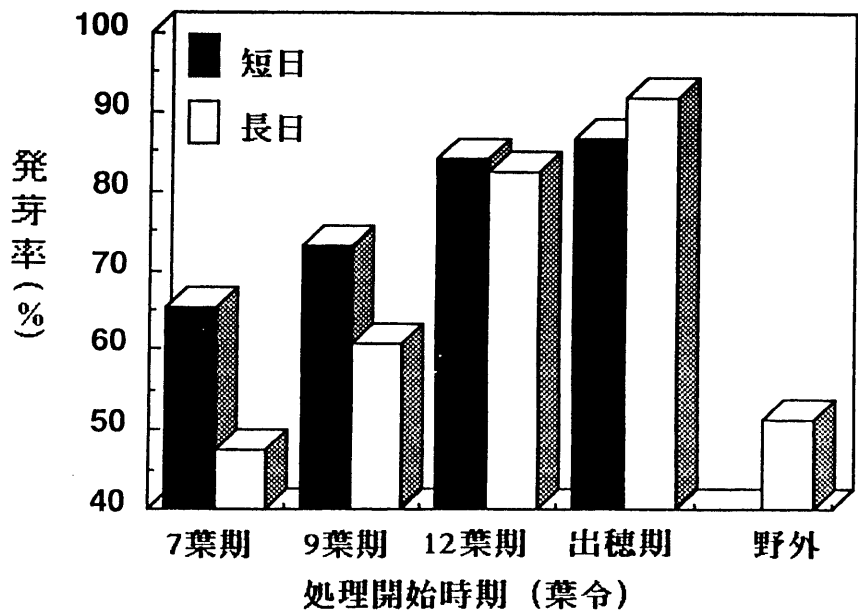
処理開始時期 (葉令)	処理区	完全米 %	腹白米 %	障害米 ²⁾ %	死米 %	不稔 %	籾数/穂
7葉期	短日	74.4	6.2	0.6	0.0	18.9	86.5
	長日	96.2	0.0	2.2	0.0	1.6	90.5
9葉期	短日	74.1	6.8	4.7	2.5	11.9	92.8
	長日	89.2	0.0	5.1	3.1	2.5	79.8
12葉期	短日	55.2	3.8	21.5	7.1	12.5	105.8
	長日	87.6	2.5	7.8	0.0	2.0	87.8
出穂期	短日	42.8	3.8	19.1	15.2	19.2	112.8
	長日	72.0	0.2	17.5	1.6	8.7	114.0
野 外		74.9	0.9	17.8	1.3	5.0	117.4

1): 1穂当りの割合 2): 死米を除くすべての障害米

第4-3表 日長処理開始時期が米粒¹⁾・籾殻¹⁾の大きさに及ぼす影響(品種 越路早生)

処理開始時期 (葉令)	処理区	粒 径(mm)			粒重 (mg/粒)	籾殻重 (mg/粒)
		長さ	厚さ	幅		
7 葉 期	短 日	5.39	2.96	2.08	22.80	4.47
	長 日	5.16	2.78	1.92	19.80	4.26
9 葉 期	短 日	5.29	2.85	1.97	20.85	4.45
	長 日	4.99	2.76	1.95	19.53	4.21
12葉期	短 日	5.23	2.86	1.90	19.58	4.29
	長 日	5.04	2.79	1.94	19.50	4.19
出 穂 期	短 日	5.05	2.71	1.92	18.83	3.72
	長 日	4.94	2.70	1.91	18.17	3.87
野 外		5.09	2.74	1.84	17.79	3.82

1): 中部枝梗強勢粒



第4-3図 日長処理開始時期が種子の休眠性に及ぼす影響
(品種 越路早生)

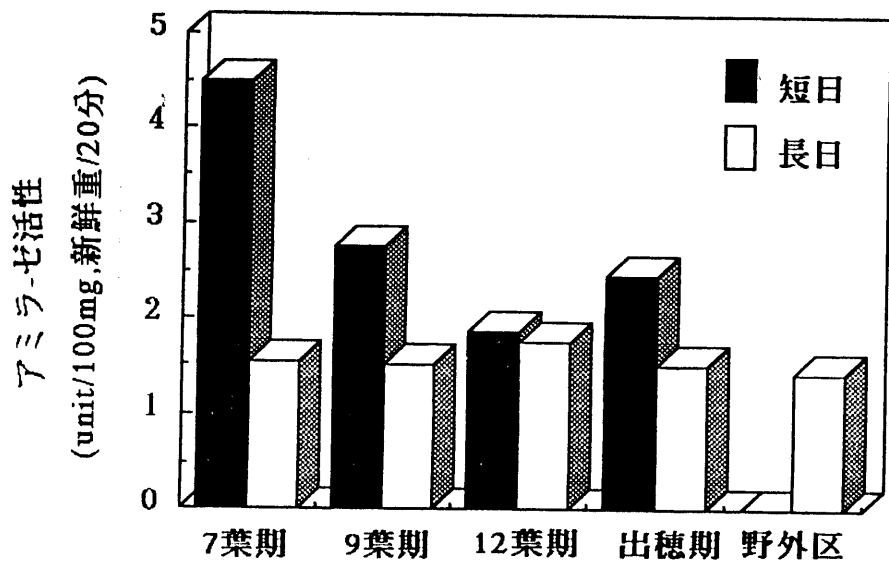
第4-4表 日長処理¹⁾が種子の休眠性²⁾・寿命性³⁾に及ぼす影響

処理区	越路早生		コシヒカリ		Dharial		
	籽粒 %	脱穎粒 %	籽粒 %	脱穎粒 %	籽粒	脱穎粒	
休眠性	短日	65.4	94.0	82.0	72.0	0.0	77.0
	長日	47.4	83.0	28.0	56.0	0.0	66.0
寿命性	短日	82.0	-	74.0	-	100	-
	長日	100	-	100	-	100	-

1): 7葉期処理

2): 成熟期における発芽率

3): 越路早生は貯蔵後4ヶ月目、コシヒカリは貯蔵後6ヶ月目、Dharialは貯蔵後8ヶ月目におけるそれぞれの発芽率。



第4-4図 日長開始時期が種子のアミラ-ゼ活性に及ぼす影響
(品種 越路早生)

5 穂上位置による米粒及び籾殻の変異

とくに、大きさと無機成分含量について

わが国の栽培イネには一穂にほぼ百数十個の穎果がきわめて規則的に着生する。これらの穎果の発育は時間的にも空間的にも異り、この結果個々の成熟粒は大きさばかりでなく成分含量も異なる。一穂上での穎果の着生の様相は極めて規則的であり、同時に穎果の発育経過は着生位置により一定の法則性が存在することが知られ、いわゆる強勢果・弱勢果の考え方¹⁷⁻¹⁹⁾が提唱されている。

著者らは、これまで穎果の着生位置と米の品質形成との関連について研究^{4,6)}を進め、両者間に一定の法則性が成り立つことを示した。ここでは穂上位置による米粒及び籾殻の変異、とくに米粒の無機成分に注目して検討を加えた内容である。

材料及び方法

1)材料

本学の実験水田で栽培した金南風を用いた。ほぼ同一出穂日で、一次枝梗数が10本のもので、健全に登熟した穂を厳選した。穂上での調査試料位置は第5-1図に示したように、縦の方向（縦の系列）として一次枝梗先端粒と5番目粒の各10粒を、横の方向（横の系列）として中央部枝梗の16粒を選んだ。調査試料を位置別に採取し、米粒と籾殻とに分離し、完全米のみを各調査項目のために選別した。

2)分析方法

種子中の無機成分の測定は、種子を過塩素酸と硝酸で分解し、0.5N規定塩酸で定容して発光分光法により行い、P、K、Mg、Ca、Zn、Fe、Mnの7成分を測定した。

結 果

1)米粒および籾殻の大きさの変異

粒重及び籾殻重を着生位置別に測定した。縦の系列では、粒重は先端粒・第5番目粒ともに上位及び下位で大きく、中位で小さくなったが、籾殻重は上位から下位へと暫減した（第5-2図）。また、横の系列では、籾殻重が一次枝梗・二次枝梗ともに先端粒と第2番目粒とで著しい差異が認められた（第5-3図）。縦・横の系列内での粒径、粒重、籾殻重、籾殻割合の変動係数を算出した（第5-4、5-5図、

第5-1、5-2表)。各形質とも縦の系列に比べて横の系列での変動が大きかった。粒径では長さの変動が比較的大きかった。また、籾殻重は粒重に比較して変動が著しく高かった。

2)着生位置による米粒の分類

第5-3表に示した米粒の7形質を用いて主成分分析を行い、横の系列の米粒を分類した。累積寄与率は第1主成分及び第2主成分までで約88%を示した。各米粒の第1及び第2主成分スコアの散布図(第5-6図)より、16着生位置の米粒が4群に大別された。第一象限に分布する粒は、一次・二次生長が優れたもので、一次枝梗強勢位置の粒がこれに含まれた。

3)米粒の無機成分の変異

7成分を着生位置別に測定した。縦の系列では、各成分は上位から下位へと暫増した(第5-7、5-8図)。また、横の系列では、各成分が一次枝梗・二次枝梗ともに先端粒と第2番目粒とで著しい差異が認められた(第5-9、5-10図)。縦・横の系列内での各成分を算出した(第5-4、5-5表)。各形質とも縦の系列に比べて横の系列での変動が大きかった。横の系列ではZn、Mnの変動が比較的大きかった。

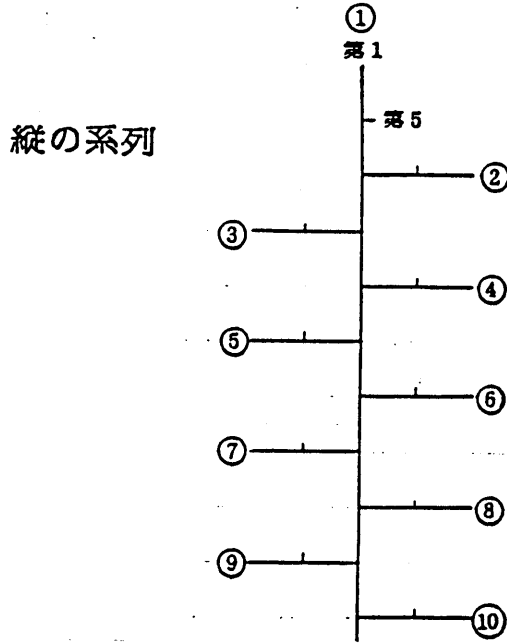
米粒に含有するリンに対するカリおよび鉄の関係を求めた。散布図より、一次・二次枝梗の先端粒は他の位置と離れ、特異的位置粒であることが明らかにされた(第5-11、5-12図)。

考 察

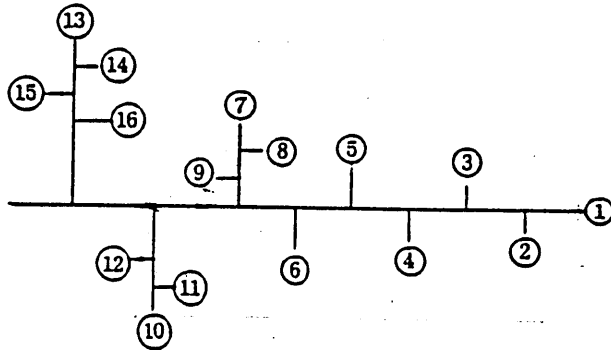
一穂内での米粒の大きさの変異を示したが、この内容は長戸¹⁷⁾の結果を再確認したものであった。しかし、一穂内で米粒の大きさの変異は主として枝梗間に比べて、枝梗内で大きいことや、着生位置による種子の分類を統計的に分類でき、新たに知見を加えることができた。

一穂内での米粒の無機成分含量の変異は、大きさの変異の傾向と同様に主として枝梗間に比べて、枝梗内で大きかった。加えて、枝梗間では基部着生粒が、枝梗内では一次・二次枝梗ともに二番目粒の含量が他の着生位置に比べ高いことが認められた。このことは米粒の大きさで一つの範疇に属する強勢粒に、さらに無機成分の特性を加味して評価すると先端粒は特異的な位置であると思われる。この位置は生理的にみても、最も長命な位置であり、“頂芽優勢的”性格を持ち合わせ、子孫維持的傾向の強いものと推察される。品質評価などで種子の採取する場合にはこの点を充分考慮することが明らかにされた。

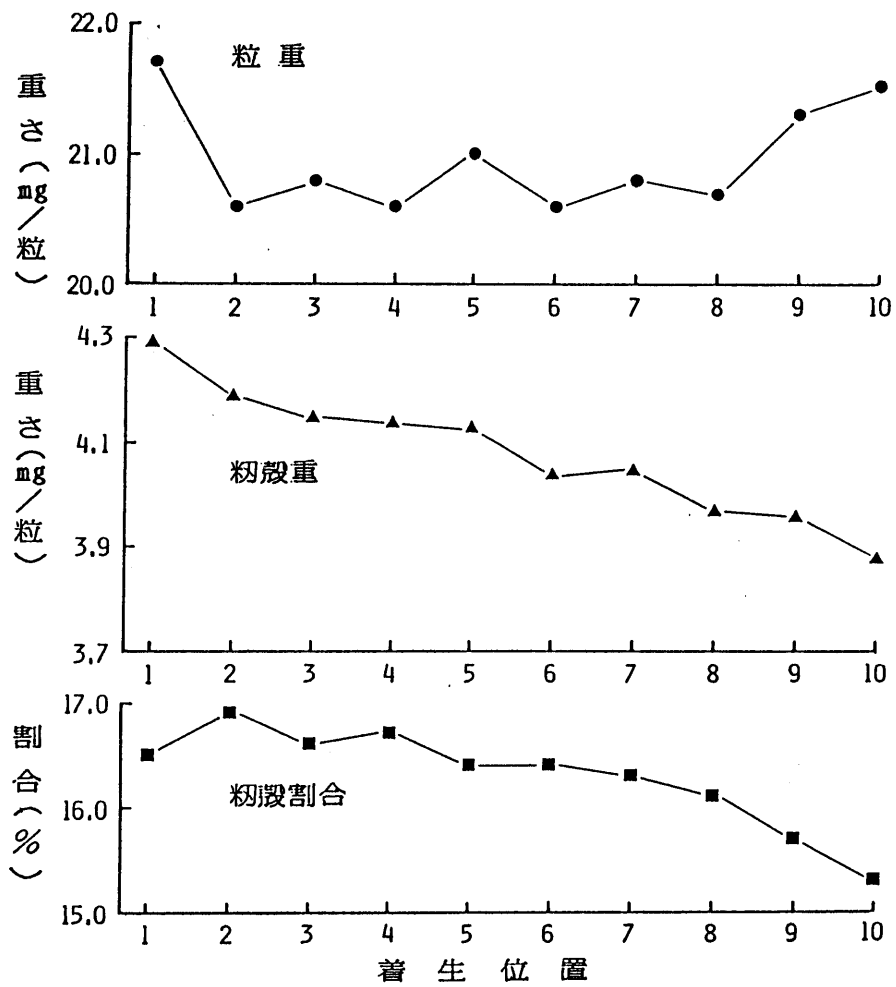
縦の系列



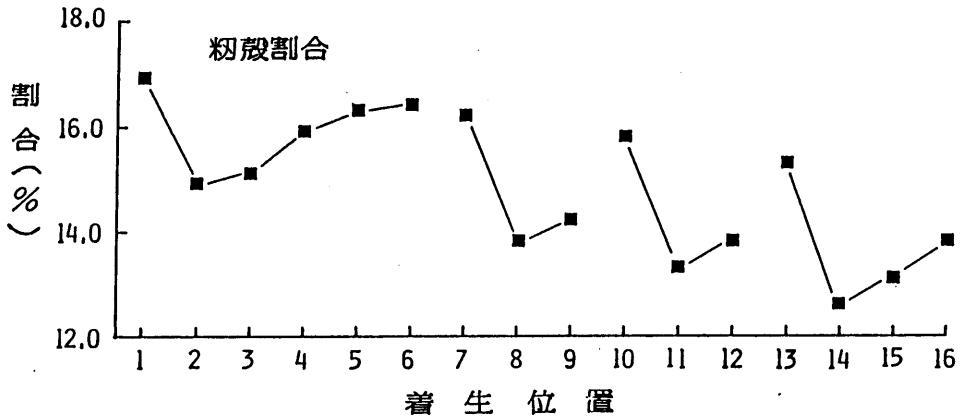
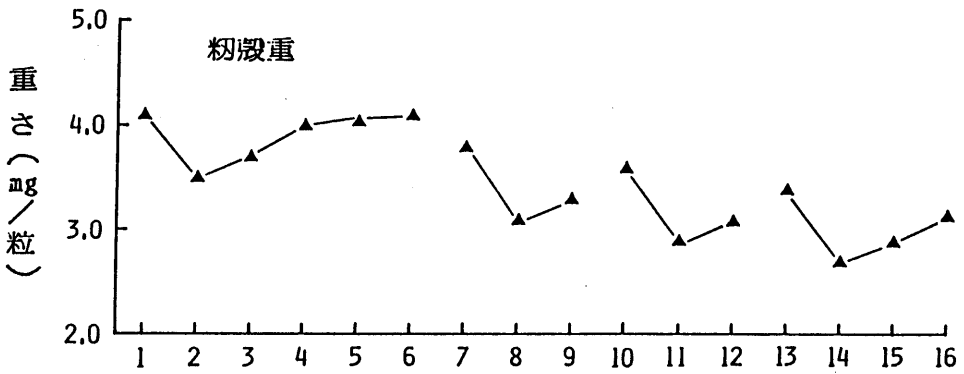
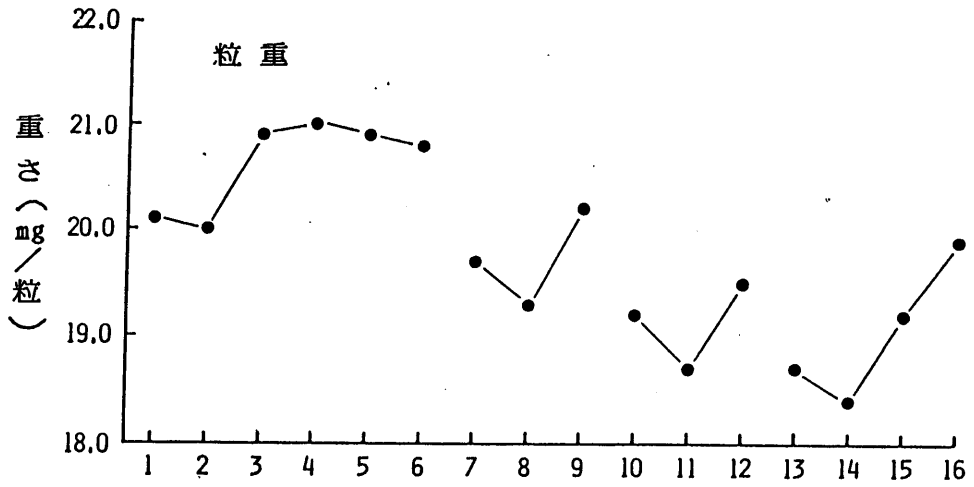
横の系列(5番目の枝梗)



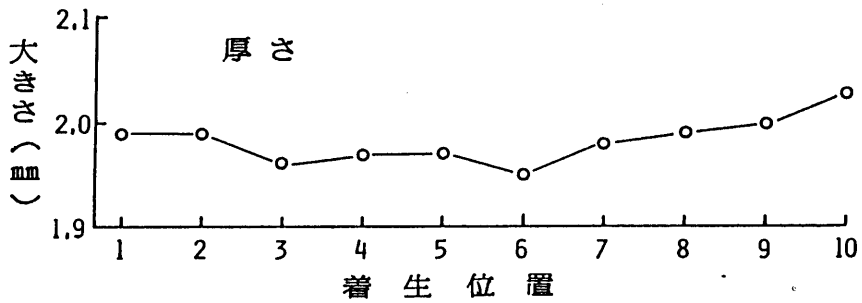
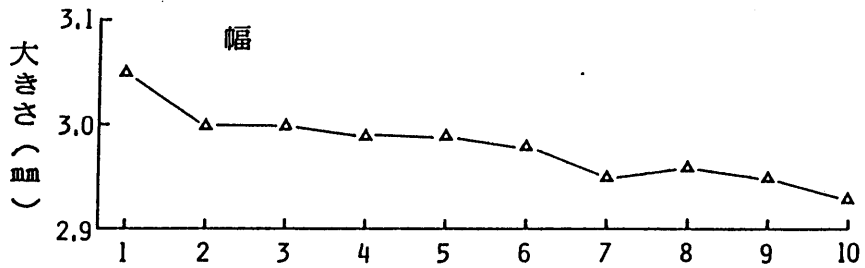
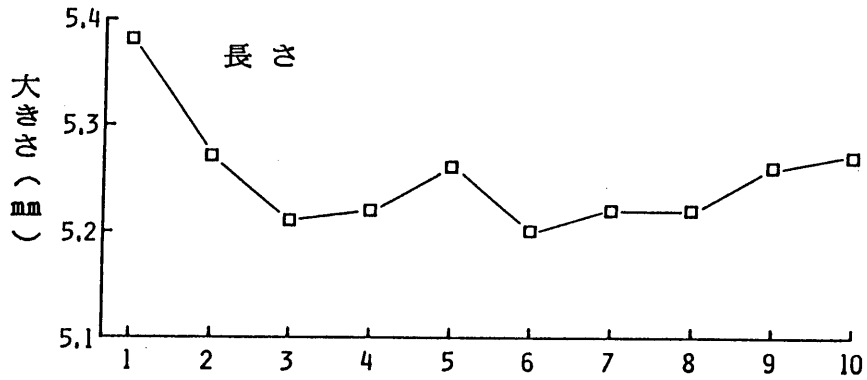
第5-1図 調査試料の着生位置



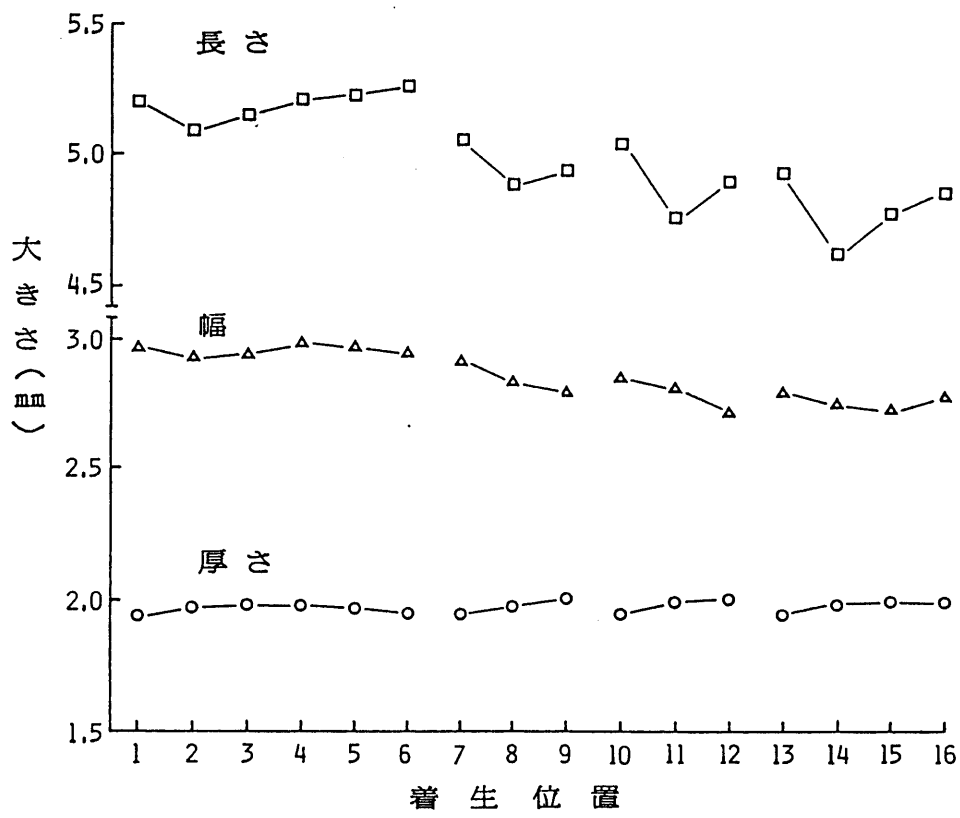
第5-2図 着生位置による粒重，籾殻重および籾殻割合の変異
(縦の系列)



第5-3図 着生位置による粒重，粒重および粒重割合の変異 (横の系列)



第5-4図 着生位置による粒径の変異 (縦の系列)



第5-5図 着生位置による粒径の変異 (横の系列)

第5-1表 着生位置による米粒及び初殻の大きさの変異（縦の系列¹⁾）

	長さ		幅		厚さ		粒重		初殻重		初殻割合	
	第1	第5	第1	第5	第1	第5	第1	第5	第1	第5	第1	第5
	(mm)						(mg)				(%)	
平均	5.02	5.25	2.96	2.98	1.95	1.98	20.1	21.0	4.16	4.08	17.2	16.3
最大値	5.30	5.38	3.02	3.05	2.01	2.03	20.8	21.7	4.38	4.29	17.7	16.9
最小値	5.15	5.20	2.91	2.93	1.91	1.95	19.5	20.6	4.03	3.88	16.5	15.3
標準偏差	0.05	0.05	0.04	0.03	0.03	0.02	0.42	0.42	0.12	0.12	0.34	0.49
変動係数, %	0.9	1.0	1.2	1.2	1.5	1.1	2.1	2.0	2.8	3.0	2.0	3.0

1) 調査試料着生位置各10個. 第1; 先端粒, 第5; 5番目粒 (図 1. 参照).

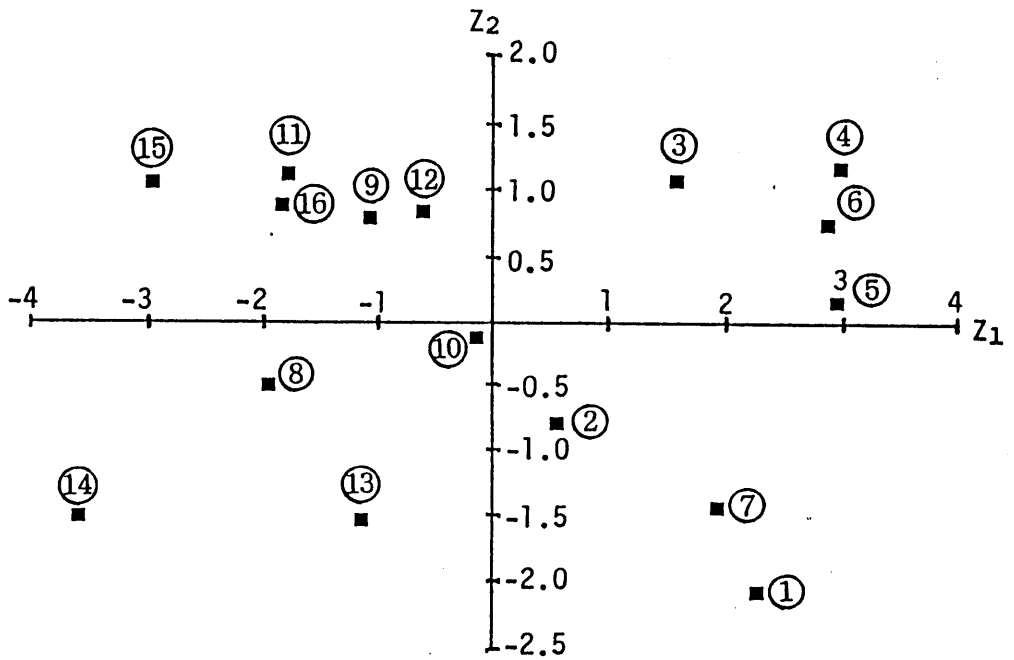
第5-2表 着生位置による米粒及び籾殻の大きさの変異（横の系列¹⁾）

	長さ	幅	厚さ	粒重	籾殻重	籾殻割合
	(mm)			(mg)		(%)
平均	5.07	2.93	2.01	19.8	3.57	15.3
最大値	5.34	3.07	2.04	21.3	4.17	17.3
最小値	4.70	2.77	1.96	18.3	2.85	13.4
標準偏差	0.17	0.09	0.02	0.92	0.42	1.22
変動係数, %	3.3	2.9	1.2	4.7	11.8	8.0

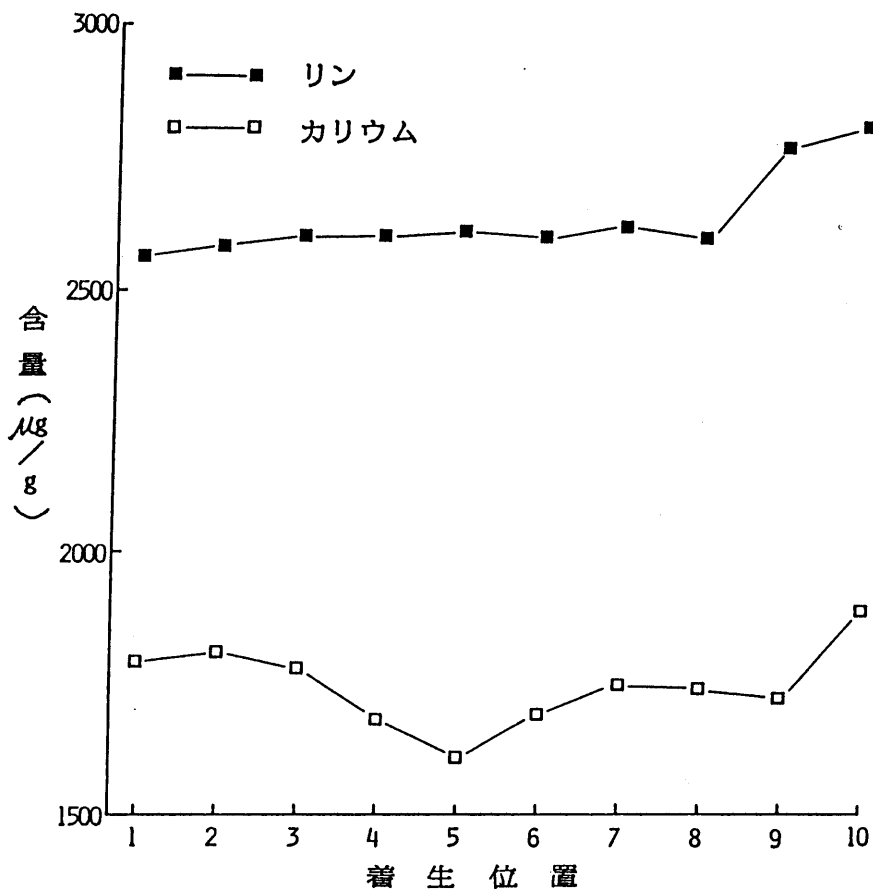
1) 調査試料着生位置16個.

第5-3表 主成分の固有ベクトルと寄与率—横の系列—

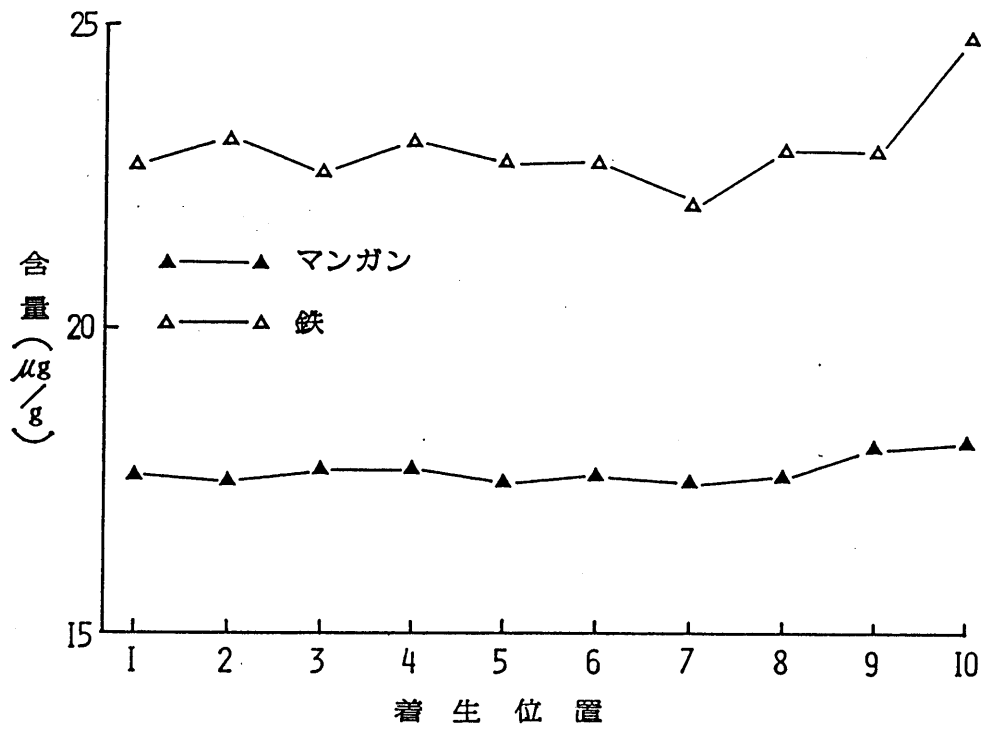
	主成分		
	第 1	第 2	第 3
長さ(L)	0.424	0.126	-0.369
幅 (W)	0.432	0.181	0.204
厚さ(T)	-0.175	0.802	-0.101
$L/\sqrt[3]{LWT}$	0.369	-0.119	-0.646
$W/\sqrt[3]{LWT}$	0.377	-0.068	0.589
$T/\sqrt[3]{LWT}$	-0.445	0.135	0.025
$\sqrt[3]{\text{粒重}}$	0.355	0.497	0.219
個 有 値	4.84	1.30	0.76
累積寄与率(%)	69.1	87.8	98.5



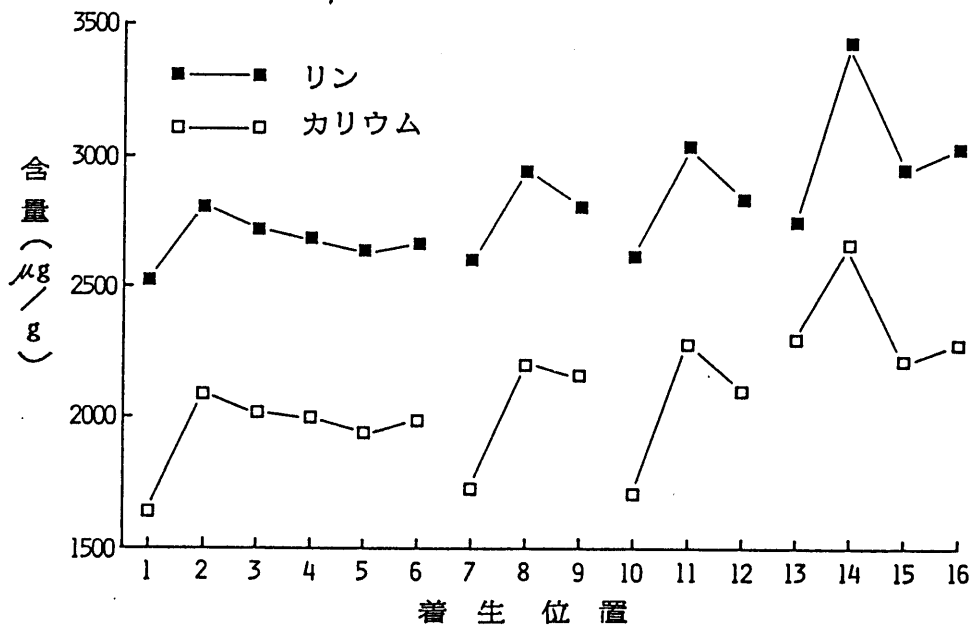
第5-6図 第1及び第2主成分スコアによる米粒の分類
 図中の番号は、図1の着生位置番号を示す。



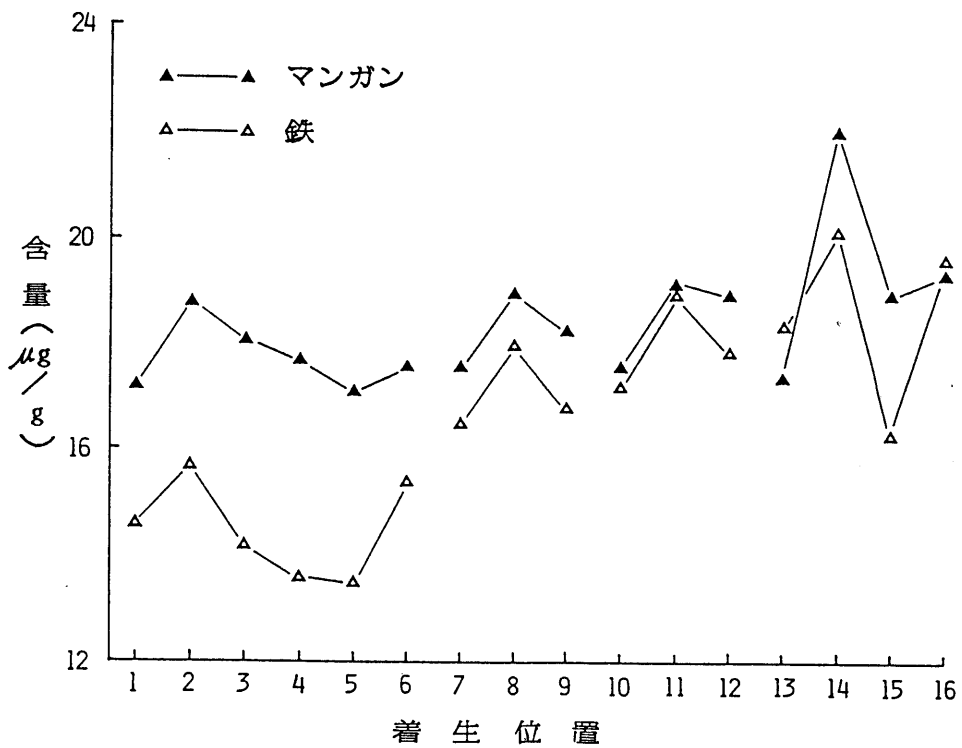
第5-7図 着生位置による米粒のリンおよびカリウム含量の変異
(縦の系列)



第5-8図 着生位置による米粒のマンガンおよび鉄含量の変異 (縦の系列)



第5-9図 着生位置による米粒のリンおよびカリウム含量の変異
(横の系列)



第5-10図 着生位置による米粒のマンガンおよび鉄含量の変異 (横の系列)

第5-4表 着生位置による米粒の無機成分含量の変異(縦の系列¹⁾)

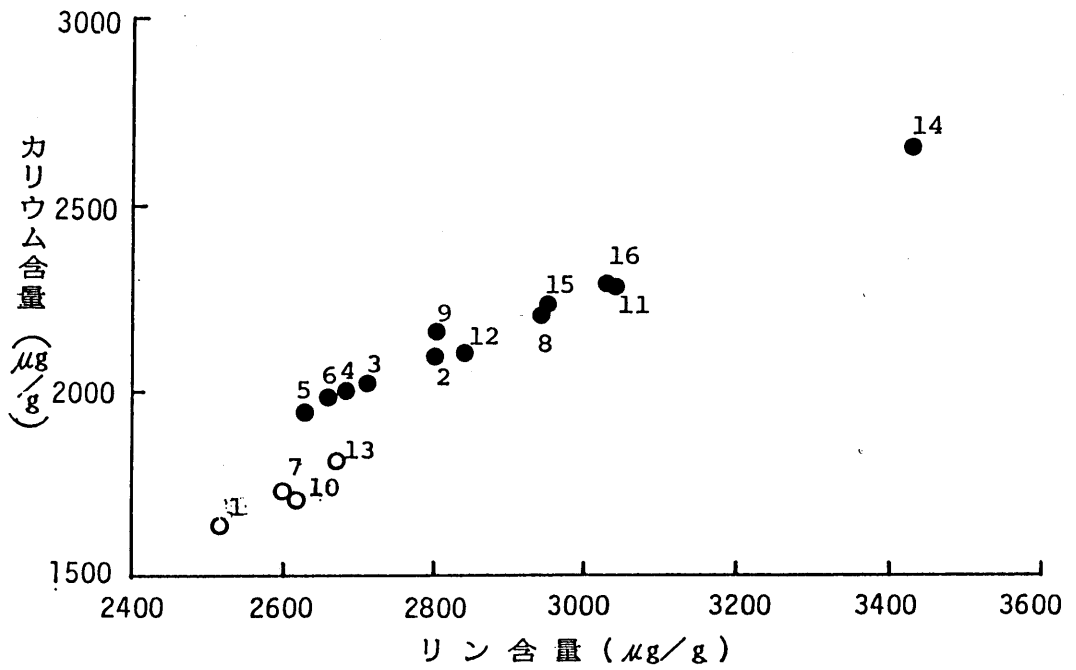
	P	K	Mg	Ca	Zn	Fe	Mn
	(μg/g)						
平均	2612.2	1723.9	1119.4	113.8	23.73	23.02	17.71
最大値	2807.5	1870.5	1181.5	128.7	26.80	24.90	18.16
最小値	2542.3	1659.6	1097.0	107.2	22.18	22.12	17.52
標準偏差	76.6	59.2	22.0	6.2	1.18	0.68	0.23
変動係数, %	2.9	3.4	1.9	5.5	4.9	2.9	1.2

1) 調査試料着生位置10個. 5番目粒.

第5-5表 着生位置による米粒の無機成分含量の変異(横の系列¹⁾)

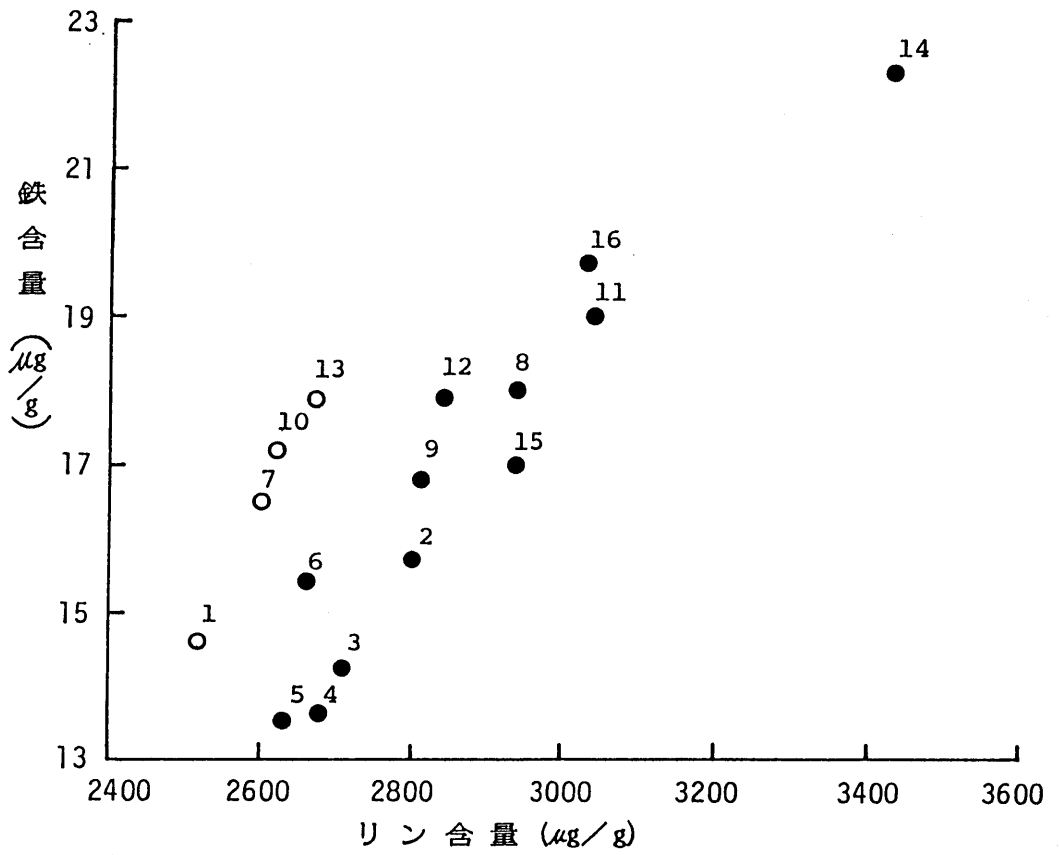
	P	K	Mg	Ca	Zn	Fe	Mn
	(μg/g)						
平均	2810.4	2198.0	1122.0	115.7	24.82	17.21	24.82
最大値	3418.0	2866.0	1203.0	155.9	41.58	22.30	41.58
最小値	2516.0	1756.0	1076.0	98.5	17.90	13.51	17.90
標準偏差	227.8	286.4	30.9	14.6	6.14	2.26	6.14
変動係数, %	8.1	13.0	2.7	12.6	24.7	13.1	24.74

1) 調査試料着生位置16個.



第5-11図 米粒のリン含量とカリウム含量の関係 (横の系列)

図中の番号は着生位置番号を示す



第5-12図 米粒のリン含量と鉄含量の関係 (横の系列)

図中の番号は着生位置番号を示す

6 緩効性窒素肥料が水稻の登熟および米の品質に及ぼす影響

水稻栽培にとって窒素が最も重要な肥料である。しかしながらその多量施肥が倒伏や病害虫発生をもたらすため、施用量や施用時期についてはかなり注意が必要であり、さらにその施用に費やされる労力は多大なものである。近年そのような問題の回避のために緩効性窒素肥料の利用が検討されている。

本章では、緩効性窒素肥料を用いて水稻を栽培し、とくに水稻の登熟と米の品質に及ぼす影響について検討した。

材料及び方法

1)材料

名古屋大学附属農場の水田土壌を1/2000aワグネルポットに充填した。窒素処理区としては溶出速度の異なる3種類の緩効性窒素肥料（L-70、L-100、L-140。以下それぞれをL-70区、L-100区、L-140区と記す）を標準量（7g/ポット）施用する慣行区とその3倍量施用する多肥区 の2つ設けた。

6月4日に水稻品種 {葵の風愛知県奨励品種（中生、極良食味、強稈、多収、縞葉枯れ病抵抗性）} をポットに播種し、適時灌水して発芽させた。3葉期の7月6日にポット当たり3個体となるように間引きいた。その後の栽培法は収穫期まで慣行に準じた。

2)収量調査

調査には穂重、わら重、粒数、登熟歩合、玄米重について行った。塩水選には比重1.06の塩水を用いた。

3)米の品質分析

玄米を精選後、粉碎機（UDYサイクロンミル）で粉碎し、近赤外分校分析計（NIRS 6500）にてタンパク質、粘り値及び食味値⁸⁾を測定した。

結果及び考察

1)収穫指数に及ぼす影響

穂重とわら重は窒素溶出速度の差異には影響されなかったが、多肥施用で共に大きく増加した。収穫指数は溶出速度や施肥量に影響されずほぼ一定値を示した（第6-1表）。

2)穂数と登熟に及ぼす影響

株当り穂数と一穂粒数は共に多肥施用で著しく増加したが、共に溶出速度の遅

速には影響されなかった。一方、登熟歩合と千粒重は施肥量および溶出速度に影響されずほぼ一定の値を取った（第6-2表）。

3)品質に及ぼす影響

玄米中のタンパク質は施肥量および溶出速度の遅速に影響され、多肥区で増加し、また溶出速度が中庸なもので低下した。粘り値はこのタンパク質含量とは逆の傾向を示した。また、食味値は粘り値と同様な傾向を示し、多肥区で低下、溶出速度が速いもので増加した（第6-3表）。

以上、水稻の収量・登熟および米の品質は緩効性窒素肥料により大きく影響されるこたが明らかにされ、省力化と同時に品質の向上に有効であることが判った。収量は増肥することによって高まるが、その場合食味値は低下した。窒素肥料による収量増と玄米品質の向上を同時に得ることは困難であることが、窒素溶出速度の遅速を適宜使用することによってこの矛盾を解決することが可能であると思えた。

第6-1表 緩効性窒素肥料施用が収穫指数に及ぼす影響

施肥量	種類	穂重/株 (g)	わら重/株 (g)	収穫指数
慣行区	L-70	22.2±5.8	21.1±5.0	0.51±0.01
	L-100	22.2±5.8	21.1±5.0	0.51±0.01
	L-140	23.8±4.1	21.8±3.8	0.52±0.01
多肥区	L-70	36.1±6.3	34.1±8.3	0.52±0.05
	L-100	37.3±7.7	38.1±9.4	0.50±0.03
	L-140	33.8±8.1	32.9±7.0	0.51±0.04

第6-2表 緩効性窒素肥料施用が登熟に及ぼす影響

施肥量	種類	穂数/株	粒数/穂	登熟歩合 (%)	粒重/粒 (mg)
慣行区	L-70	10.1±1.6	104.4±4.0	92.6±2.6	21.14±0.20
	L-100	10.1±1.6	108.3±5.5	91.9±2.5	21.79±0.50
	L-140	9.0±2.3	112.1±14.3	94.2±1.4	22.02±0.74
多肥区	L-70	15.1±4.4	126.3±14.3	94.1±0.6	21.40±0.43
	L-100	15.4±3.3	127.5±6.8	97.2±0.8	21.10±0.47
	L-140	15.3±3.1	118.3±8.5	91.0±6.5	21.10±0.49

第6-3表 緩効性窒素肥料施用が化学成分と食味に及ぼす影響

施肥量	種類	タンパク質 (%)	粘り値	食味値
慣行区	L-70	8.47±0.34	19.20±1.43	80.38±4.67
	L-100	9.03±0.22	18.83±0.69	73.35±3.79
	L-140	8.77±0.27	18.90±0.96	76.70±3.11
多肥区	L-70	9.78±0.38	17.25±0.90	61.73±6.75
	L-100	10.31±0.16	17.05±0.90	53.70±2.44
	L-140	10.19±0.36	16.73±0.96	56.80±7.26

7 引用文献

1. Agrawal, P.K. 1977. Germination, fat acidity and leaching of sugars from five cultivars of paddy (*Oryza sativa*) seeds during storage. *Seed Sci. and Technol.*, 5:489-498.
2. 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.
3. 江幡守衛・平沢恵子・柴田 哲 1982. 米飯のテクスチャーに関する研究. 第2報 粒径、成熟度、粒質の影響. *日作紀* 51:242-247.
4. 江幡守衛・山田 勉・石川雅士 1989. 米飯のテクスチャーに関する研究. 第3報 テクスチャーの品種間差異. *日作紀* 58:569-575.
5. 江幡守衛・田代 亨 1973. 腹白米に関する研究. 第1報 腹白米の発現の品種間差異. *日作紀* 42:370-376.
6. 林 満 1979. 稲種子の休眠性および発芽性に関する研究. VIII. 登熟中並びに収穫後の温度条件が種子の休眠および穎の変性に及ぼす影響. *鹿大農学学術報告* 29:21-32.
7. 林 満 1980. 稲種子の休眠性および発芽性に関する研究. X. ABA (アブシジン酸)の施用が種子の休眠および発芽に及ぼす影響. *鹿大農場研報* 5:1-7.
8. 堀野俊郎・岡本正広 1992. 玄米の窒素ならびにミネラル含量と米飯の食味との統計的関連. *中国農研報* 10:1-15.
9. 伊藤 博 1973. 稲の発芽諸特性の品種間差異および環境変動に関する育種学的研究. *農事試験場研究報告* 19:1-60.
10. 池田三雄 1963. 稲種子の穂発芽に関する研究. *鹿大農学学術報告* 13:89-115.
11. 池橋 宏 1973. 稲の発芽諸特性の品種間差異および環境変動に関する育種学的研究. *農事試験場研究報告* 19:1-60.
12. 岩崎文雄 1962. 水稻種子の発芽・初期生育と短日処理. *農業技術* 17:542-543.
13. 国広泰史 1989. 稲良食味育種とアミロース. *農業技術* 44:40-44.
14. 松尾考嶺 1964. 栽培稲に関する種生態学的研究. *農技研報告* 3:1-111.

15. 松元幸男・山川恵久 1967. 貯蔵種もみの寿命. 農業技術 22:228-229.
16. 森田雄平 1984. 米の品質劣化に関する生化学的諸問題. 藤巻正生編 ポスト・ハーベットの科学と技術, pp.23-34、光琳、東京.
17. 長戸一雄 1941. 穂上位置に依る米粒成熟の差異に就いて. 日作紀 13:156-169.
18. 長戸一雄・菅原清康 1952. 穂上位置に依る稲種子の発芽力について. I 成熟種子の発芽力 日作紀 20:294-295.
19. 長戸一雄・菅原清康 1953. 穂上位置に依る稲種子の発芽力について. II 未熟種子の発芽力 日作紀 21:77-78.
20. 長戸一雄・岸 洋一 1966. 米の粒質に関する研究. 第2報 炊飯特性の品種間差異 日作紀 35:245-256.
21. 長戸一雄 1971. 貯蔵および乾燥方法が米の炊飯特性に及ぼす影響. 日作紀 40:299-305.
22. 中川原捷洋 1988. 稲遺伝史資源論. 農業技術 43:518-523.
23. 中川宣興・古賀義明 1989. 食味育種. 農業技術 44:88-93.
24. 永松土巳・立野喜代太・高原健次郎 1968. 長期低温貯蔵粳の発芽力消失に関する品種間差異. 農業技術 23:375-376.
25. 奥野買敏・久保田基成 1989. 米のタンパク質と脂質の成分育種. 農業技術 44:325-330.
26. 奥野買敏 1990. 作物育種と食品加工 {2} 加工適性から見た米の多様性と水稻育種. 農及園 65:321-328.
27. 岡 彦一・蔡 国 海 1955. 稲種子の休眠と寿命に関する品種間差異. 第10報 栽培稲の系統発生的分化. 1955. 育雑 5:22-26.
28. 太田保夫・武市義雄 1966. 親植物の短日処理が水稻種子の発芽に及ぼす影響. 日作紀 34:287-289.
29. 太田保夫・竹村儀子 1970. 米穀の貯蔵と種子に休眠. 農業技術 25:18-22.
30. Osawa T., Ramarathnam N., Kawakishi S., Namiki M. and T. Tashiro 1985. Antioxidative defense systems in rice hull against damage

- caused by oxygen radicals. Agric. Biol. Chem. 49:3085-3087
31. Ramarathnam N., Osawa T., Namiki M. and T. Tashiro 1986. Studies on the relationship between antioxidative activity of rice hull and germination ability on rice seeds. J. Sci. Food Agric. 37:719-726.
 32. Roberts, E.H. 1961 Dormancy in rice seed II. The influence of covering structures J. Exp. Bot.,12:430-445.
 33. Roberts, E.H. 1962 Dormancy in rice seed III. The influence of temperature,moisture, and gaseous environment. J. Exp. Bot.,13:75-94.
 34. Roberts, E.H. 1963 An investigation of inter-varietal differences in dormancy and viability of rice seed. Ann. Bot.27:365-369.
 35. 釈 一郎・朱宮昭男・香村敏郎・高松美智則・谷口 学・芳賀光司 1974. 水稻育種における世代促進に関する研究. 第10報 愛知農総試験報 A9:25-38.
 36. 佐々木武彦 1989. 香り米・有色米の育種. 農業技術 44:374-378.
 37. Satoh,H. and T. Omura 1981. New endosperm mutations induced by chemical mutagens in rice,*Oryza sativa* L. Japan J. Breed., 31:316-326.
 38. Sikder,H.P. 1983. Effects of cropping seasons and temperatures on the dormancy of rice(*Oryza Sativa*) seeds. Expl. Agric.19:349-354.
 39. 滝田清正 1989. 米の粒径(粒大)特性の育種. 農業技術 44:279-282.
 40. 高橋 清 1976. 水稻における稔実期間の温度条件が得られた種子の寿命に及ぼす影響. 日作東北部報 19:59-61.
 41. 高橋成人 1967. イネ種子の休眠と発芽. 植物の化学調節 2:84-92.
 42. 高橋成人 1981. 種子形成条件と発芽. 東北農研報 32:65-72.
 43. Tamaki M., Ebata M., Tashiro T. and M. Ishikawa 1989. Physico-ecological studies on quality formation of rice kernel. I. Effects of nitrogen top-dressed at full heading time and air temperature during ripening period on quality of rice kernel. Japan. Jour Crop Sci. 58:653-658.

44. Tamaki M., Ebata M., Tashiro T. and M. Ishikawa 1989. Physico-ecological studies on quality formation of rice kernel. II. Changes in quality of rice kernel during grain development. Japan. Jour. Crop Sci. 58:659-663.
45. Tamaki M., Ebata M., Tashiro T. and M. Ishikawa 1989. Physico-ecological studies on quality formation of rice kernel. III. Effects of ripening stage and some ripening conditions on free amino acids in milled rice kernel and in the exterior of cooked rice. Japan. Jour. Crop Sci. 58:695-703.
46. 田代 亨・江幡守衛 1974. 腹白米に関する研究. 第 2 報 穂上位置と腹白米の発現. 日作紀 43:105-110.
47. 田代 亨・江幡守衛 1975. 腹白米に関する研究. 第 3 報 登熟期の環境条件が腹白米発現におよぼす影響. 日作紀 44:86-92.
48. 田代 亨・江幡守衛 1975. 腹白米に関する研究. 第 4 報 白色不透明部の胚乳細胞の形態的特徴. 日作紀 44:205-214.
49. 田代 亨・江幡守衛 1976. 腹白米に関する研究. 第 5 報 腹白の発現過程, とくに米粒水分との関係について. 日作紀 45:616-623.
50. Tashiro T. and M. Ebata 1979. Studies on white-belly rice kernel. VI. Effect of nitrogen top dressing at heading stage on the occurrence of white-belly kernel. Japan Jour. Crop Sci. 48:99-106.
51. Tashiro T., Ebata M. and M. Ishikawa 1980. Studies on white-belly rice kernel. VII. The most vulnerable stages of kernel development for the occurrence of white belly. Japan. Jour. Crop Sci. 49:482-488.
52. 田代 亨・玉置雅彦 1986. イネの種子寿命におよぼす登熟環境条件および収穫時期の影響について. 日作東海支部報 102:5-8.
53. Tashiro T. and I. F. Wardlaw 1989. A comparison of the effect of high temperature on grain development in wheat and rice. Ann. Bot. 64:59-65.
54. Tashiro T. and I. F. Wardlaw 1991. The effect of high temperature on the accumulation of dry matter, carbon and nitrogen in the kernel of rice. Aust. Jour. Plant Physiol. 18:259-265.
55. Tashiro T. and I. F. Wardlaw 1991. The effect of high temperature

- on kernel dimensions and the type and occurrence of damage in rice. Aust. Jour. Agri. Res. 42:485-496.
56. 山本隆一 1988. 新時代への稲育種. 農業技術 43:472-476.
 57. 安江多輔・浅井 靖 1970. 貯蔵中の外周条件がイネ種子の休眠性および発芽性におよぼす影響. 岐阜大農研報告 29:67-69.
 58. 安江多輔・古田 稔 1971. 登熟中の環境条件がイネ種子の休眠性および発芽性におよぼす影響. 岐阜大農研報告 31:31-39.
 59. Yasumatsu, K. and S. Moritaka 1964. Fatty acid compositions of rice lipid and their changes during storage. Agri. Biol. Chem. 28:257-264.
 60. Yasumatsu, K., S. Moritaka and T. Kakinuma 1964. Effect of the change during storage in lipid composition of rice on its amylogram. Agri. Biol. Chem. 28:265-272. 264.
 61. 横尾政雄 1988. うまい米指向と食の多様性に対応する米. 農業技術 43:25-28.
 62. 横尾政雄 1989. 米の調理適性の育種. 農業技術 44:470-475.

8 あとがき

本研究は、米飯を意識したこれまでの品質研究を見直し、新しい食品素材として米を捉え、これを多角的に有効活用するために品質を多面的に理解しようとした。そして調査対象を従来見過ごされてきた在来系統や突然変異系統に着目した。

米の形質は、粒の大きさや形状、粒色、香り、タンパク質・脂質・でんぷんの成分組成など^{13, 25, 36, 39)}多様性に富んでいる。さらに、最近作出された胚乳形質突然変異系統は一層米の形質の変異³⁷⁾を拡大させている。今までこれらの変異形質の何割が利用されてきたのかは明らかでないが、今後とも新しい特性を引き出せる余地を残している。これらの形質変異を利用することは米料理を多様化させることにもなると思われる。

食糧問題において、保蔵は一次生産と車の両輪をなす重要な役割をもち、とくに主要食糧の健全な保蔵と安定供給は世界的にも大問題であり、食糧自給率の低いわが国では食糧安全確保の立場からもこの問題を考える必要がある。穀物の保蔵性を左右するものは、温度、湿度、酸素などの外圍環境要因と種子が遺伝的に備えている形質や登熟過程で獲得された形質などの種子自体が保持する内的要因の二つに大別される。従来の保蔵技術は外圍環境の制御を計り、保蔵性を向上させる方向で進んできた。しかし、今日の省資源、省エネルギー時代にはこの方向はそぐわないと考える。本研究は保蔵性の優れた米を見だし、生体防御機能を活用し、米を安全・安価・簡便に保蔵する技術開発のための基礎的情報を得ようとするものであり、この考え方の可能性が示唆された。