Kazuyoshi TAKEDA : Grain-notching due to Further Elongation of Caryopsis under Low Temperature Condition in Rice. (Unbalanced Growth in Floral Glumes and Caryopsis in Rice X.) (English summary on p.354)

低温による子房の伸長促進とくびれ米の発生 (イネにおける穎と子房の相互関係 X.)

武 田 和 義

(岡山大学農業生物研究所, 倉敷市 710)

くびれ米歩合および子房の本来の長さに対する登熟期の温度の影響を解析した。低温によってくびれ米歩合は顕著に高まるが、子房の本来の長さもまた増大し、回帰分析の結果、低温によるくびれ米歩合の増大は大部分子房の伸長促進に伴う穎と子房の長さのアンバランスの拡大によることが明らかにされた。すなわち、低温によるくびれ米歩合の増大は、従来言われていたような登熟阻害によると言うよりも低温による子房の伸長促進に伴う穎と子房の長さのアンバランスの拡大によっており、くびれ米の発生機構は遺伝的側面からも環境的側面からも、穎と子房の長さのアンバランスとして統一的に解釈できる。

KEY WORDS : *Oryza sativa*, notched grain, grain filling, ripening condition.

緒 言

イネの穎と子房の長さは同一の遺伝的支配を受ける形質ではなく、両者の間には遺伝的なアンバランスが存在し、子房が長すぎるとその伸長が穎によって妨げられ、くびれ米になることが著者らの一連の研究によって明らかにされている(武田・高橋 1970, その他)。一方、登熟初期の低温によってくびれ米(胴切米)が発生するという報告は多く(岡村 1935, 氏家ら 1954, 長戸・小林 1957, 浪岡ら 1975, その他), その理由は低温によって米粒の幅の生長が抑制されるためであると説明されている(長戸・小林 1957)。

著者はくびれ米の発生に特徴のある多数の品種・系統を制御環境下で栽培し、子房の本来の長さが低温条件で増大すること、ならびに低温によるくびれ米歩合の増大は大部分、低温による子房の過剰伸長によることを知った。出穂前の低温によって籾殻が小さくなり、その結果、玄米が小さくなること(佐藤 1968), また、登熟初期の高温によって玄米が小さくなること(高橋ら 1979)などはすでに知られているが、子房の本来の長さに対する温度の影響については報告がなく、また、低温によるくびれ米の発生が子房の過剰伸長によるという事実は新知見と思われるので取りまとめ報告する。

材料および方法

実験 1 (予備実験) 供試材料は Table 1 に示される 47 品種・系統(以下、品種と略記する)である。HN および LN 系統は L-45 とアキミノリの交雑後代からくびれ米歩合の上限または下限に選択を続けた F₂ 系統であり、“823” 系統は亀の尾 1 号と改良愛国の交雑後代からくびれ米歩合の上限に選抜を加えた F₂ 系統である。また、台中 65 号糯は岡彦一博士によって育成された台中 65 号の糯性同質遺伝子系統である。供試材料には、滝田正氏らによって育成された BG-1 (玄米長 7.9 mm) と BG-4 (同 7.5 mm), ならびに Cigalon (同 6.7 mm), H-347 (同 6.7 mm), 房吉

Table 1. List of materials used in the experiments

Akiminori*	HN-5-4	LN-6-1	Waseminori
BG-1	HN-6-1*	LN-7-1	Yakan*
BG-4	HN-7-5	Mizunokuromochi*	823-034
Cigaron	Kairyo Aikoku	Moro	823-037
Fujiminori	Kamenoo 1	R-3	823-040
Fusayoshi	Kiyono 1*	Sekiyama 2*	823-058
H-347	L-45-78*	Sensho*	823-101
Higashidori-zairaimochi	L-45-80	Shin 2*	823-120
HN-1-2	LN-1-1*	Shintsurumochi*	823-128
HN-2-3	LN-2-1	Taichung 65	823-135
HN-3-2*	LN-4-1	Taichung 65-waxy	823-148
HN-4-17	LN-5-1*	Warabehatamochi*	

*: Materials used in both exp. 1 and 2. Others were used in only exp. 1.

(同 6.5 mm), R-3 (同 6.3 mm) などの大粒品種が含まれているが、一般栽培品種よりも小粒の品種は含まれていない。

材料は 1981 年 4 月下旬に播種して 5 月下旬に三要素各 0.9 g を施与した 1/5,000 a ワグナーポットに 4 株 1 本植えし、低温区と戸外区に各々 2 ポットをあてた。それぞれの品種の出穂始めまでは網室で栽培し、それ以後、低温区は 15 時から翌朝 9 時までは 15°C、9 時から 15 時までは開花・受精を行わせるために、12 時に 28°C を最高とする変温のファイトトロン（自然光）で栽培した。一方、戸外区は一貫して網室で栽培した。

供試品種は 7 月中旬から 8 月中旬にわたって出穂し、その時期における戸外の最高気温は 29~34°C、最低気温は 22~26°C で経過した。なお、ファイトトロンの湿度は昼間 80%、夜間 95% 程度であったが、戸外区の昼間の湿度は晴天時においては 60% 以下になる場合があったので、戸外区は相対的に高温、乾燥条件にあったと言える。

穎による規制を除いた状態で子房を発達させるために各個体から 1~2 本の穂を抽出し、開花後 2~3 日目に穎の先端を切除した。切穎した穂は戸外区、低温区とも硫酸紙の袋で保護した。なお、用いた硫酸紙の光透過率を波長別に測定したところ可視部で 70~75%、紫外部で 50~60% であった。

完熟後に収穫して良く乾燥し、穎の先端が切除された状態で発達した玄米（切穎玄米）と穎に包まれた状態で発達した玄米（非切穎玄米）をそれぞれ 10 粒ずつ採り、万能投影機（10 倍）を用いて長さを測定した。以後、穎の長さによって決定される非切穎玄米の長さを Cl、子房の本来の長さの指標である切穎玄米の長さを Tl と略記し、両者のアンバランスの程度を示す指標として Tl/Cl を用いる。くびれ米歩合と玄米粒重（Cw）は屑米を除く非切穎玄米、原則として 100 粒を対象に調査し、くびれ米歩合の統計処理にあたっては百分率の角度変換値を用いた。

実験 2 実験 1 の材料から 14 品種を抽出し、Cw, Cl, Tl, Tl/Cl ならびにくびれ米歩合に対する出穂後の温度および湿度の影響を解析した。実験 2 の材料には実験 1 の低温区においてもくびれ米を発生しなかった品種、および戦捷（玄米長 5.6 mm）以上の大粒品種、ならびにわずかながら系統内分離の認められた（武田 1983-a）“823”系統は含まれていない。

材料は 1982 年 4 月下旬に播種して 5 月下旬に三要素各 0.9 g を施与した 1/5,000 a ワグナーポットに 4 株 1 本植えし、各区に 2 ポットをあてた。それぞれの品種の出穂始めまでは網室、それ以後は温度および湿度を制御したファイトトロンで栽培し、戸外区は一貫して網室で栽培した。供試品種は 7 月中旬から 8 月上旬にわたって出穂し、その時期における戸外の最高気温は 26~32°C、最

低気温は 20～24℃ で経過した。それぞれの処理条件は、

温度試験：自然光のファイトトロンで低温区 (13～23℃)，中温区 (18～28℃) ならびに高温区 (23～33℃) の 3 区を設け、それぞれ正弦曲線に従って変温した。なお、それぞれの設定温度は低温年における札幌ならびに平年における弘前と倉敷の 8 月中旬の気温を想定している。夜間の湿度はいずれも 95% 程度であったが、昼間の湿度は低温区で 90%，中温区で 85%，高温区で 80% 程度であった。

湿度試験：人工光 (陽光ランプ 3 万 lux，日長 14 時間) のファイトトロンで低湿区 (明期 60%～暗期 65%)，中湿区 (同 70～75%) ならびに高湿区 (同 90～95%) の 3 区を設けた。温度はいずれも 18～28℃ の変温 (正弦曲線) とした。

切穎処理，調査方法などは実験 1 と同様である。

実験結果

実験 1 低温区ならびに戸外区における供試 47 品種の Cw, Cl, Tl, Tl/Cl およびくびれ米歩合の平均値を Table 2，その分散分析を Table 3 に示す。

すべての形質において品種ならびに処理 (登熟条件) と品種の相互作用は 0.1% 水準で有意と認められた。処理の効果をみると，Cw は戸外区において 2% ほど軽かったが，この差異は統計的に有意ではなかった。Cl の登熟条件による差異は 0.02 mm にすぎなかったが，統計的に 5% 水準で有意と認められた。なお，低温区の種子稔性は戸外区と大差なかった。

Tl は低温区において戸外区の平均 1.15 倍と明らかに長く，これによって Tl/Cl も低温区で大きかった。一方，くびれ米歩合の平均値は戸外区の 10.6 度 (約 3%) に比べて低温区では 36.9 度 (約 36%) と大幅に高まった。

なお，台中 65 号とその糯性同質遺伝子系統を比較すると，戸外区においては共にくびれ米を発生しないが，低温区では粳系統が約 8%，糯系統が約 1% のくびれ米を発生した。Tl/Cl も粳系統

Table 2. Average values of 47 varieties for weight of caryopsis (Cw), length of caryopsis (Cl) and glume-clipped caryopsis (Tl), Tl/Cl ratio and notched grain percentage (in degree of angle) under low temperature and outdoor conditions in experiment 1

Condition	(Temp. Humid.)	Cw (mg)	Cl (mm)	Tl (mm)	Tl/Cl	Notched
Low Temp.	(15～28℃ 80～90%)	23.27	5.23	7.06	1.35	36.91
Outdoor	(22～34℃ 55～95%)	22.81	5.26	6.14	1.18	10.61
Difference		0.46	0.02*	0.92***	0.17***	26.30***

* and *** : Significant at the 5% and 0.1% levels, respectively.

Table 3. Analysis of variance for weight of caryopsis (Cw), length of caryopsis (Cl) and glume-clipped caryopsis (Tl), Tl/Cl ratio and notched grain percentage (in degree of angle) in experiment 1

Source of Variation	D. F.	Mean Square for				
		Cw	Cl	Tl	Tl/Cl	Notched
Treatments	1	9.8947	0.0332*	39.8452***	1.37193***	32,512.06***
Varieties	46	111.0221***	2.0988***	1.9273***	0.03954***	2,210.84***
T × V	46	2.9731***	0.0053***	0.0774***	0.00334***	365.60***
Error	94	0.3207	0.0025	0.0148	0.00054	9.81

* and *** : Significant at the 5% and 0.1% levels, respectively.

Fig. 1. Relationship between Tl/Cl ratio and notched grain percentage (in degree of angle) under low temperature and natural (outdoor) conditions in 47 varieties (Exp. 1).

の 1.32 に対して 1.25 と糯系統で低かったが、この相違が糯遺伝子の一般的な特徴かどうかは不明である。また、既報(武田 1981)と同様に、糯系統の Cl は粳系統に比べて 3% ほど短く、Cw は 6% ほど軽かった。

Tl/Cl とくびれ米歩合の関係を Fig. 1 に示す。低温区においてもくびれ米を全く発生しなかったのは大粒の BG-1 と H-347、ならびに L-45 とアキミノリの交雑後代からくびれ米歩合の下限に選抜を続けた LN-6-1 の 3 系統であり、これらの系統の Tl/Cl は戸外区においては 1.03 以下、低温区においても 1.16 以下と非常に低く、穎と子房の長さが良くバランスしているとみられた。一方、戸外区においてもくびれ米歩合が顕著に高い 7

品種 (Fig. 1) は L-45 とアキミノリの交雑後代からくびれ米歩合の上限に選抜を続けた HN 系統であり、これらの Tl/Cl は戸外区においても 1.28 以上、低温区においては 1.42 以上と極めて高く、穎と子房の長さが甚しくアンバランスであった。

Tl/Cl とくびれ米歩合は低温区で $r=0.878$ 、戸外区で $r=0.809$ と密接な関係にあるが、Tl/Cl が 1.2 以下ではくびれ米がほとんど発生せず、一方、Tl/Cl が 1.5 以上ではくびれ米歩合が上限 (100%) に近づくことを反映して Tl/Cl とくびれ米歩合との関係は全体としてはゆるい S 字曲線を描いた。

Table 2 および Fig. 1 に示されるように、くびれ米歩合は明らかに低温区で高いが、Tl/Cl も低温区で大きく、低温区においてくびれ米歩合が高いのは登熟阻害によるというよりも Tl が低温条件で良く伸長し、それによって穎と子房の長さのアンバランスが高まるためとみることもできる。ところで、戸外区と低温区では湿度および光の条件も異っているので、これらの効果を明らかにするために温度ならびに湿度を制御し光条件も一定にした次の実験を行った。

実験 2 各処理区における供試 14 品種の Cw, Cl, Tl, Tl/Cl ならびにくびれ米歩合の平均値

Table 4. Average value of 14 varieties for weight of caryopsis (Cw), length of caryopsis (Cl) and glume-clipped caryopsis (Tl), Tl/Cl ratio and notched grain percentage (in degree of angle) under various temperature and humidity conditions in experiment 2

Condition	(Temp. Humid.)	Cw (mg)	Cl (mm)	Tl (mm)	Tl/Cl	Notched
High Temp.	(23~33°C 80~95%)	20.14	4.90	6.20	1.27	12.07
Med. Temp.	(18~28°C 85~95%)	20.60	4.93	6.42	1.31	23.00
Low Temp.	(13~23°C 90~95%)	20.53	4.94	6.81	1.39	41.46
High Humid.	(18~28°C 90~95%)	21.07	4.92	6.61	1.35	19.61
Med. Humid.	(18~28°C 70~75%)	20.96	4.93	6.57	1.33	18.43
Low Humid.	(18~28°C 60~65%)	20.72	4.94	6.45	1.31	18.43
Outdoor	(20~32°C 55~95%)	19.88	4.92	6.09	1.24	17.13

Numerals in the bracket are not significantly different at the 5% level.

Table 5. Analysis of variance for weight of caryopsis (Cw), length of caryopsis (Cl) and glume-clipped caryopsis (Tl), Tl/Cl ratio and notched grain percentage (in degree of angle) in temperature-experiment

Source of Variation	D. F.	Mean Square for				
		Cw	Cl	Tl	Tl/Cl	Notched
Treatments	2	1.7546*	0.0110*	2.6566***	0.09395***	6,364.04***
{ L & M vs H ¹⁾	1	3.4228**	0.0202*	3.1406***	0.10301***	7,699.12***
{ L vs M	1	0.0865	0.0018	2.1725***	0.08489***	5,028.95***
Varieties	13	21.1379***	0.5493***	1.7015***	0.03518***	2,505.14***
T × V	26	0.3924	0.0029	0.0252***	0.00123*	97.21***
Error	42	0.2726	0.0022	0.0058	0.00048	18.39

¹⁾: L, M and H mean low, medium and high temperature conditions, respectively.

*, ** and ***: Significant at the 5%, 1% and 0.1% levels, respectively.

を Table 4 に示す。

まず温度試験の結果を解析すると、品種間差異はいずれの形質においても 0.1% 水準で有意であり、処理と品種の相互作用は Tl とくびれ米歩合で大きかった (Table 5)。

Cw および Cl は高温区においてのみそれぞれ 1% および 5% 水準で有意に減少しており、実験 1 におけると同様に高温区では玄米が小さく出来あがることが示された。また、低温区における Cw および Cl は中温区に比べても小さくないので、この程度の低温では玄米の発育が遅延したとしても (武田 1984-b) 最終的に小さくはならないことがわかる。なお、高温区では高温障害 (SATAKE and YOSHIDA 1978) によるとみられる不稔が発生したが、中温区と低温区の種子稔性は正常であった。SATAKE and KOIKE (1983) も開花期における 17°C の低温処理で稔性がほとんど低下しなかったと報告している。

Tl, Tl/Cl ならびにくびれ米歩合の温度条件による変化は顕著で、低温区で最も大きく、高温区で最も小さかった。

なお、子房の伸長経過の観察によれば、高温区では Tl が急速に伸長して受精後 7～9 日で全長に達するのに対して、低温区では緩慢ではあるが 11～13 日まで伸長が続き、9～11 日で高温区を追い越すことが明らかにされている (武田 1984-b)。

Table 6. Analysis of variance for notched grain percentage (in degree of angle) by means of regression on Tl/Cl ratio in temperature-experiment

Source of Variation	D. F.	Mean Square
Regression	1	19,386.94***
Deviation	40	113.11
{ Adj. Means	2	37.98
{ Residual	38	117.06
{ Reg. Coef.	2	178.80
{ Residual	36	113.63

Condition	Regression Equation	Correlation Coef.	Adj. Mean ¹⁾
High Temp.	$\hat{Y}=215.8 X-261.6$	0.896***	23.62
Med. Temp.	$\hat{Y}=293.2 X-359.3$	0.880***	26.29
Low Temp.	$\hat{Y}=203.9 X-239.9$	0.859***	27.21

***: Significant at the 0.1% level.

¹⁾: in degree of angle, Common Reg. Coef. = 231.4

このように登熟温度が低いほどくびれ米歩合が高まり、同時に Tl が増大して Tl/Cl も大きくなる傾向が明らかなので、Tl/Cl に対するくびれ米歩合の回帰分析を試み、結果を Table 6 に示した。全体としての回帰は高い水準で有意 ($F=171.4$, $r^2=0.811$) であり、くびれ米歩合の変異の 81% が Tl/Cl の変異によって説明された。回帰係数は 203.9~293.2 で相互に有意差がなく、また、くびれ米歩合の修正平均値 (Tl/Cl の全平均は 1.32) は低温区と中温区では 27.2 度と 26.3 度、高温区では 23.6 度と高温区においていくぶん低かったが、この差異は統計的に有意ではない。

Fig. 2. Relationship between Tl/Cl ratio and notched grain percentage (in degree of angle) under low and high temperature conditions in 14 varieties (Exp. 2).

なお、低温条件でくびれ米を多発するとされる新 2 号 (氏家ら 1954, 長戸・小林 1957) のくびれ米歩合は、高温区の 0.7 度 (0.02%) に対して低温区では 27.0 度 (約 21%) と高かったが、Tl/Cl も高温区の 1.21 に対して低温区では 1.31 と明らかに高かった。

Tl/Cl とくびれ米歩合の関係の温度条件による変化を Fig. 2 に示す。図を単純化するために中温区は除いてあるが、Table 4 に示される平均値の大小からもうかがわれるように、中温区は低温区と高温区のほぼ中間にあった。Tl/Cl とくびれ米歩合の間には低温区で $r=0.859$ 、高温区で $r=0.896$ (中温区で $r=0.880$) と密接な相関が認められた。

更に、Tl/Cl に対するくびれ米歩合の回帰係数は Table 6 に示されるように、203.9~293.2 であるが、Table 4 に示される Tl/Cl

およびくびれ米歩合の平均値からその登熟温度による回帰係数 (変化率) を計算すると高温区と中温区の間で 273.3、中温区と低温区の間で 230.8 および高温区と低温区の間で 244.9 となり、Tl/Cl に対するくびれ米歩合の回帰は品種変異においても環境変異 (登熟温度) においてもほとんど平行であることが示された。

次に湿度試験の結果 (Table 7) をみると、品種間差異は温度試験の場合と同様に顕著であった

Table 7. Analysis of variance for weight of caryopsis (Cw), length of caryopsis (Cl) and glume-clipped caryopsis (Tl), Tl/Cl ratio and notched grain percentage (in degree of angle) in humidity-experiment

Source of Variation	D. F.	Mean Square for				
		Cw	Cl	Tl	Tl/Cl	Notched
Treatments	2	0.8830	0.0022	0.2005***	0.00955**	12.93
{ H & M vs L ¹⁾	1	1.6009	0.0039	0.3753***	0.01720***	6.38
{ H vs M	1	0.1651	0.0005	0.0257	0.00190	19.47
Varieties	13	22.4004***	0.5067***	2.0305***	0.05260***	3,315.16***
T × V	26	0.4143*	0.0035*	0.0145	0.00067	26.17**
Error	42	0.2138	0.0018	0.0099	0.00079	9.04

¹⁾ : H, M and L mean high, medium and low humidity conditions, respectively.

*, ** and *** : Significant at the 5%, 1% and 0.1% levels, respectively.

が、処理と品種の相互作用はそれほど大きくなかった。Cw, Cl およびくびれ米歩合は湿度によって変化しなかったが、Tl は低湿区において 0.1% 水準で有意に短く、それに伴って Tl/Cl も小さかった。これは非切穎玄米の伸長、肥大は本実験で設定された 60~95% の湿度の範囲では影響を受けないが、穎による保護を失った切穎玄米の伸長は乾燥条件下でいくぶん阻害されることを示している。

考 察

江幡ら (1983) は水稻品種日本晴の切穎した穂を各種のビニールフィルムで被覆する実験によって紫外線が子房の伸長を抑制し、暗黒状態で子房が良く発達することを明らかにした。また、PICKERING (1982) は切穎して交雑したオオムギの子房が、グラシン紙よりも茶色い紙の袋を被せた方が大きくなることを見出した。このように、子房の発育は光の条件によって影響されるので、戸外区と各処理区の比較では光（特に紫外線）の効果を無視できないが、実験 2 の温度試験と湿度試験は、それぞれ同一の光条件のもとで実施されている。なお、32 品種をガラス室と低温の圃場で栽培した実験 (武田ら 1981) によると、Tl の平均値はガラス室の 6.04 mm に対して圃場では 6.49 mm と 0.1% 水準で有意に長かった。これは切穎玄米の伸長に対する低温による促進効果が紫外線による抑制効果よりも大きいことを示唆するものと思われる。

また、材料はいずれも出穂始めまでは網室で栽培されており、出穂前に決定される (明峯 1909) 穎の大きさには各処理区で差異がないと見られるから、Cw および Cl の処理による変化は穎の大きさの変化ではなく、中味の大きさの変化とみて良い。

従来考えられていたように、Tl/Cl が品種固有の遺伝的特性であり (武田 1982)、かつ低温によるくびれ米歩合の増大が登熟阻害によるものであれば (岡村 1935, 氏家ら 1954, 長戸・小林 1957, 浪岡ら 1975), Fig.1 および Fig.2 に示される Tl/Cl とくびれ米歩合の相関図において低温区は高温区から縦軸方向に移動しなければならない。ところが実際には Tl/Cl とくびれ米歩合の関係が品種相関の方向に沿って移動している。

実験 2 の温度試験ではくびれ米歩合の変化が顕著であるが (Table 4, 5), くびれ米歩合の温度による変化は大部分 Tl/Cl の変化によっており、Tl/Cl を固定した場合、くびれ米歩合の修正平均値は登熟温度によって有意には変化しないことが明らかにされた (Table 6)。これは低温によるくびれ米歩合の増大が低温による Tl の過剰伸長に伴う Tl/Cl の増大に起因することを意味する。Tl/Cl を一定にたくびれ米歩合の修正平均値は高温区で 23.6 度 (約 16%), 低温区で 27.2 度 (約 21%) であり、この 5% の差異が低温による登熟阻害の効果であるとみることもできるが、高温区で 12.1 度 (約 4%), 低温区で 41.5 度 (約 44%) というくびれ米歩合の観察値の大幅な変化 (Table 4) に比べればこの差異は極めて小さい。従って、低温による登熟阻害に伴うくびれ米歩合の増大は、もしあったとしてもわずかであり、低温によってくびれ米歩合が高まるのは低温条件下で子房の伸長が促進され、穎と子房の長さのアンバランスが高まるためであると言える。

なお、実験 2 の温度試験では、昼間の湿度が温度条件によって 80~90% と 10% ほど異なるが、Table 4 に示されるように、この範囲の湿度の相違は玄米の諸形質に有意な変化をもたらすことはないので、この温度試験では温度の効果だけが解析されたとみてよいであろう。徐・太田 (1982) も湿度 50% の条件では切穎玄米の発育がかなり阻害されるが、湿度 80% では阻害が少ないとしている。

Tl/Cl が大きくても子房の肥大能力が高いとくびれ米ができずに割れ粳になる (武田・高橋 1972), あるいは粒形によってくびれ米発生の難易が異なる (武田 1984-a) などの変動要因はあるが、本

実験の結果、くびれ米の発生機構は遺伝的側面からも環境的側面からも、子房が長すぎることに由来する穎と子房の長さのアンバランスとして統一的に解釈できることが明らかにされた。

低温によるくびれ米の発生が登熟阻害によるという見方(長戸・小林 1957, その他)は低温即登熟阻害という経験則に拘束されているうえに、くびれ米の発生が穎と子房の長さのアンバランスによるという事実(武田・高橋 1970, その他), ならびに子房の伸長の温度反応(武田 1984-b)に気づいていない。また、くびれ米の発生を支配する主働遺伝子が存在するという見解(盛永・福島 1943, GHOSE and BUTANY 1952, SEETHARAMAN 1967, その他)は、粒大に関与する主働遺伝子が穎の長さを強力に支配する反面、子房の長さをこれと同じ割合では変化させないために穎と子房の長さのアンバランスが生じ、そのアンバランスによってくびれ米が発生するに至る遺伝子の派生的効果(武田 1982)を、当該遺伝子のくびれ米発生に対する直接的な効果と誤認したものであろう。

くびれ米歩合の品種間差異は明らかであり、選抜反応から推定された遺伝力も 0.6~0.7 と量的形質としては高い値を示すので(武田 1983-b), くびれ米歩合を遺伝形質と見ることもできる。しかしながら、その発生機構を解析すると、くびれ米は遺伝的あるいは環境的要因による穎と子房の長さのアンバランスによって発生する形質であって、くびれ米の発生そのものを支配する遺伝的実体は存在しない二次的形質であることが明らかにされた。これは複合形質の遺伝性を解析するうえで留意すべき事例といえよう。

引用文献

- 明峯正夫 1909. 稲の開花及交種に関する研究. 札幌農林学会報 2. 3: 42~55.
- 江幡守衛・尾関 毅・井上和雄・石川雅士・田代 享 1983. イネの花穎の遮光的役割. 日作東海支部研究梗概 96: 33~38.
- GHOSE, R. L. M. and W. T. BUTANY 1952. Inheritance of some characters in rice. Ind. J. Genet. 12: 26~30.
- 盛永俊太郎・福島栄二 1943. 稲の形態と遺伝. I. 畸形形質と遺伝. 九大農芸雑誌 10: 301~339.
- 長戸一雄・小林喜男 1957. 胴切米の発生に関する研究. 日作紀 26: 13~14.
- 浪岡 実・高館正男・佐藤尚雄 1975. 水稻冷害の実験的研究. 第 43 報. 登熟期の低温処理による胴切米発生
の品種間差異. 日作東北支部報 17: 1~2.
- 岡村 保 1935. 胴切米に就いて. 農学研究 25: 221~296.
- PICKERING, R. A. 1982. The effect of pollination bag type on seed quality and size in *Hordeum* inter-
and intraspecific hybridization. Euphytica 31: 439~449.
- SATAKE, T. and S. YOSHIDA 1978. High temperature-induced sterility in indica rice at flowering.
Japan. J. Crop Sci. 47: 6~17.
- and S. KOIKE. 1983. Sterility caused by cooling treatment at the flowering stage in rice
plants. I. The stage and organ susceptible to cool temperature. ibid. 52: 207~214.
- 佐藤 庚 1968. 稲の穀粒の大きさの意義について. 日作紀 37: 454~456.
- SEETHARAMAN, R. 1967. Inheritance of notch in rice kernels. Ind. J. Genet. 27: 465~472.
- 徐 錫元・太田保夫 1982. 水稻の登熟に及ぼす穀粒の役割. 第 5 報. 穀粒からの水分損失と米粒の発達につい
て. 日作紀 51: 529~534.
- 高橋正道・千葉隆久・丹野耕一 1979. 水稻における登熟期の温度が登熟ならびに品質に及ぼす影響. 日作東北
支部報 22: 41~42.
- 武田和義 1981. 糯硬性同質遺伝子イネ系統ならびにその F₁ における登熟の環境反応. 育雑 31: 1~8.
- 1982. イネの穎と子房の大きさの相対的關係. VI. 小粒性主働遺伝子によるくびれ米の発生. 育雑
32: 353~364.
- 1983-a. ———. VII. 栽培品種間の交雑後代におけるくびれ米の発生. 育雑 33: 148~159.
- 1983-b. ———. VIII. くびれ米歩合ならびに穎と子房の長さのアンバランスの選抜反応と相関反応
育雑. 33: 310~320.
- 1984-a. ———. IX. イネの粒形とくびれ米の発生. 育雑 34: 228~236.
- 1984-b. イネにおける子房の伸長の温度反応とくびれ米(胴切米)の発生. 日作紀 投稿中.
- ・高橋萬右衛門 1970. イネの穎と子房の大きさの相対的關係. I. その不均衡程度の品種間差異と畸

- 形粒の発生. 育雑 20 : 337~343.
——— 1972. Ⅲ. 分離集団で観察された遺伝的關係. 育雑 22 : 67~74.
——— 一戸克之・斎藤健一 1981. くびれ米 (胴切米) の発生機構ならびにくびれ米歩合の変異性. 日作紀
50 : 502~508.
氏家四郎・斎藤豊治・佐藤三郎 1954. 冷害年次における胴切米の発生状況. 農及園 29 : 1317~1318.

Summary

In the previous papers the author has clarified the followings : The rice plant is capable of elongating its caryopsis (Tl) beyond the length of floral glumes (Cl) in general. Consequently, the long-wise growth of caryopsis is more or less restricted within the floral glume cavity, and sometimes this causes to result in the grain-notching, especially when the ratio of Tl/Cl is high. In fact, the correlation between notched grain percentage and Tl/Cl ratio was highly significant, and the glume-clipped caryopsis never developed into notched grain, suggesting excessive elongation of caryopsis being the cause of grain notching.

On the other hand, there are a number of workers who have stressed the repressing effect of low temperature at the ripening period on caryopsis growth, which might possibly be the cause of grain notching.

To study the varietal and environmental variations of caryopsis growth and to clarify the mechanism of grain notching, various rice varieties were grown under controlled environment and the caryopsis growth and notched grain percentage were examined in this study.

For allowing full expression of the potential length of caryopsis (Tl), upper parts of the floral glumes on one or two panicles of each plant were clipped off two or three days after anthesis, and these panicles were protected by parchment bags. The length of caryopsis which developed naturally in the floral glumes indicates inside length of floral glumes (Cl). Thus, Tl/Cl ratio gives the index of unbalanced growth of caryopsis.

In the first experiment, 47 varieties were grown outdoors until heading and thereafter half of each variety was subjected to low temperature (15~28°C) condition and the other half was kept outdoors (22~34°C) consistently. The results, shown in Tables 2 and 3, clearly indicate that environmental variation of caryopsis weight (Cw) was not statistically significant, but Cl, Tl, Tl/Cl and notched grain percentage were significantly larger under low temperatures as compared with those grown outdoors. Varietal variation and variety×environment interaction of all these traits were highly significant. Relationship between Tl/Cl and notched grain percentage (Fig.1) shows that unbalanced growth between Tl and Cl is a primary factor to produce notched grains and, under low temperatures, not only notched grain percentage but also Tl/Cl increase remarkably.

In the second experiment, 14 varieties were selected and grown outdoors. After heading, plants of each variety were divided into seven lots, and subjected to different temperature and humidity conditions i.e. low (13~23°C), medium (18~28°C) and high (23~33°C) temperature and low (60~65%), medium (70~75%) and high (90~95%) humidity, and outdoor conditions.

In this temperature experiment, air humidity changed slightly according to temperatures (Table 4), but the effect of humidity was not recognizable except for Tl and Tl/Cl

under extremely dry condition (Table 7).

Tl, Tl/Cl and notched grain percentage showed a sharp response to the temperature condition, but Cw and Cl decreased only a little under high temperature condition. Increment of Tl/Cl under low temperatures was attributable solely to the increase of Tl, because Cl, a denominator, did not decrease under low temperatures (Table 4).

As shown in Fig.2, increment of notched grain percentage due to low temperatures was accompanied by the increase of Tl/Cl ratio. Regression analysis of notched grain percentage onto Tl/Cl ratio clearly demonstrated that variation of notched grain percentage was almost attributable to the variation of Tl/Cl ($r^2=0.81$), but the height and slope of regression did not show significant difference among temperature conditions (Table 6). It means that the increase of notched grain percentage under low temperatures is due to the increase of Tl/Cl, and if Tl/Cl was at the same level, notched grain percentage does not show significant change with the temperature treatment. In other words, excessive elongation of the caryopsis under low temperatures is the cause of grain notching.

It may, therefore, be concluded that, in both genetic and environmental variations, the cause of grain notching is primarily the unbalanced growth of caryopsis.

K. TAKEDA

Institute for Agricultural and Biological Sciences, Okayama University, Kurashiki 710