Tadahiko FUKUOKA, Kiichi FUKUI : Numerical Evaluation of the Grain Quality of Pearled Barley by Image Analysis Methods
(English summary on, p. 232)

画像解析法によるオオムギの 精麦品質の数量化について

福岡忠彦¹⁾・福井希一²⁾

(¹⁾農業研究センター, ²⁾農業生物資源研究所, つくば市, 〒 305)

肉眼観察によっている食用大麦の精麦品質の評価方法を客観化するために、画像解析法による数量化を試みた。そのために、M. G. 染色法によって染色された精麦粒の胚乳部(桃色)とそれ以外の縦溝、果種皮、糊粉層、胚芽部(青～黒色)とを区分し、全粒面積に対する青～黒色に染色される部分の割合を精麦程度評価の尺度とした。染色部位の区分は、画像解析法によって画像の濃淡を計測して行った。画像解析法による計測条件として、背景(白)から精麦粒を抽出する濃度値範囲を0～150、胚乳部以外の青～黒色に染色される部分を抽出する濃度値範囲を0～50、一画面上に取り込む粒数を60粒とすれば適切であることがわかった。この条件で、精麦程度評価基準サンプルの画像解析法による評価を行った結果、基準サンプルの階級と画像解析法による評価とはよく対応し、精麦程度を数量的に評価することが可能であることがわかった。さらに既に肉眼判定済みのサンプルについて画像解析法による評価を試みた結果、肉眼判定は必ずしも基準サンプルに忠実に基づいたものではないことがわかった。

KEY WORDS : *Hordeum vulgare*, barley, grain quality, image analysis, M. G. staining, pearling grade.

緒 言

食用大麦は精麦加工して利用されるが、精麦品質は色が白くて縦溝が細く、表面の稃、果種皮、糊粉層が除去されていることが望ましいとされている(谷 1959)。したがって精麦品質は主として、一定の歩留(精麦重/原麦重)に搗精された精麦粒の白度と、縦溝の広さや果種皮の残留の程度(以下精麦程度と記述する)とによって評価される(増田 1974)。

精麦白度は、通常白度計による数値で評価されている。一方、搗精された精麦粒を May-Grünwald 染色すると、胚乳部は桃色に、縦溝、果種皮、糊粉層、胚芽部は青～黒色に染め分けられる(Fig. 1, 谷ら 1952)。染色された精麦粒の肉眼観察により、後者のしめる割合が大きいほど、精麦程度が劣り精麦品質の評価も低くなる。

しかし肉眼観察による評価方法では、観察の日時や観察者が異なる場合の評価を客観的基準で比較することが困難である。精麦程度の評価方法を計量化することにより評価値を客観化できると考えられるが、これまでそうした試みはなされていない。また客観的な評価尺度を得ることにより、精麦程度の選抜効果を分析することが可能となり、精麦品質の優れた系統の育成に資することが期待できる。そこで画像解析法により精麦程度の評価法を数量化することを試みた。その結果、精麦程度の客観的評価法が得られたのでここに報告する。

1989年6月19日受領

2) 現 北陸農業試験場, 上越市, 〒 943-01

Fig. 1 M.G. stained pearled barley grain. A: endosperm B: furrow C: seed coat or aleurone layer D: embryo.

材料および方法

供試材料は、六条皮麦の精麦粒に、May-Grünwald (以下 M.G. と略する) 染色を行ったもので、1986 年 8 月に染色した精麦程度評価基準サンプル(縦溝の状態, 稈, 果種皮, 糊粉層の残りかたなどを綿密に肉眼観察して上下, 中上, 中, 中下, 下の 5 階級に分類し, 以後肉眼観察によって精麦程度評価を行う時の基準として用いたサンプル), 1987 年 8 月に染色した生産力検定試験材料 116 品種および系統 (基準サンプルとの比較により肉眼観察評価を行った結果

が中上, 中, 中下, 下であったものでその系統数はそれぞれ 21, 71, 21, 3) および 1988 年 1 月に染色した関東皮 43 号である。

搗精は、原麦 150 g を佐竹式試験用搗精機 TM-05 型 (金剛ロール粒度 # 40, 1450 回転/分) を用いて、重量が原麦の 60% になるまで行った。M.G. 染色は、May-Grünwald 液 (New M.G. 液, 関東化学) 25 ml とメタノール 60 ml の混合溶液を用い、精麦試料約 6 g を浸して行った。染色時間は M.G. 液調整後最初の試料では 30 秒, その後は染色を重ねることにより染色液が希釈されることを考慮して 1 試料の染色ごとに、3 秒ずつ増し、10 回使用後 M.G. 液を更新した。染色した試料は水道水で洗い、ろ紙上に広げ室内で自然乾燥した。

精麦程度を画像解析法によって評価するために、染色した精麦粒の全粒面積に対する青～黒色に染色される部分の面積の割合 (%、以下精麦程度指標と記述する) を尺度として用いた。画像解析装置は IBAS I・II (Zeiss/Kontron 社) を使用した。この画像解析のシステムは、TV カメラを通して取り込んだアナログ画像を、それぞれ 256 階調 (0～255) の濃度値 (grey value) を有する 512×512 画素から構成されるデジタル画像に変換した上で計測する。解析は取り込んだ精麦粒の画像に対し、電気ノイズ消去、照明むら補正、背景に出る影の消去、明暗の強調等を行って原図とした。そして背景 (白) から精麦粒の部分を抽出する濃度値範囲、青～黒色に染色された部分を抽出する濃度値範囲を計測条件として設定し、これらの濃度値範囲で原図を区切り白 (濃度値 255) か黒 (濃度値 0) かの値を与える (二値化) ことにより、精麦粒全粒および青～黒色に染色された部分の面積を計測した。

結果および考察

1. 計測条件の設定

胚乳部とそれ以外の部位とを区分する濃度値を決めるために、1986 年 8 月染色 (染色後 1 年半経過) の精麦粒 18 粒, 1987 年 8 月染色 (染色後半年経過) および染色後間もない 1988 年 1 月染色の精麦粒各 6 粒ずつを用いて、各部位ごとの濃度値の分布を調べた。計測は 1 粒ごとに背腹両面について、原図を 4 倍に拡大した画像を用いて行った。その結果を Table 1 に示す。また染色後 1 年半経過の精麦粒について、濃度値のヒストグラムを Fig. 2 に示す。この染色後 1 年半経過し

た精麦粒についてみると、胚乳部では等間隔に計測した 549 点の濃度値は 27 から 187 の範囲にあり、61 から 70 の間に分布のピークが認められた (120 点, 22%)。そして、83% が 61 以上 (明部側) の濃度値を示した。一方、胚乳部以外の縦溝、果種皮、糊粉層、胚芽部における 513 の計測点における濃度値の範囲は 0 から 114 であり、0 から 10 の間に分布のピークがあった (130 点, 25%)。しかも 87% が濃度値 50 以下 (暗部側) であった。胚乳部で 60 以下の濃度値を示したところは、桃色の呈色程度が強い部分であり、また胚乳部以外の部分で 51 以上の濃度値を示したところの多くは、縦溝部に残る淡黄色に染色された稈の部分であった。したがって 27 から 114 の濃度値範囲には、胚乳部とそれ以外の部位が共に存在し、両部位を明確に区別する濃度値は得られなかった。このことは染色後半年を経過した精麦粒や染色後間もない精麦粒についても同様であった (Table 1)。

そこで両部位を区別する境界の濃度値 (critical grey value) を設定した時に、その値を境として暗部側に含まれる胚乳部の割合と、明部側に含まれる胚乳部以外の部位の割合との和を混入率と定義し、混入率が最小となる濃度値をしきい値と定めることにした。Table 1 に基づいて染色

Table 1. Frequency distribution of grey values for each region of M.G. stained pearled barley grains

Grey value range	Stained in 1986		Stained in 1987		Stained in 1988	
	A ¹⁾	B ²⁾	A	B	A	B
0- 10	0	130	0	38	0	31
11- 20	0	112	0	31	0	34
21- 30	1	85	1	24	3	32
31- 40	10	65	0	32	8	16
41- 50	20	52	12	17	14	11
51- 60	63	30	20	21	16	5
61- 70	120	18	25	13	28	8
71- 80	85	11	46	9	39	5
81- 90	79	7	66	1	60	13
91-100	52	1	63	4	29	2
101-110	46	1	44	2	29	2
111-120	35	1	39	2	13	1
121-130	18	0	20	1	9	0
131-140	10	0	6	0	3	0
141-150	3	0	7	1	2	0
151-160	2	0	6	0	1	0
161-170	2	0	1	0	2	0
171-180	1	0	2	0	1	0
181-190	2	0	1	0	0	0
191-200	0	0	1	0	0	0
201-255	0	0	3	0	0	0
	549	513	363	196	257	160

¹⁾endosperm. ²⁾furrow, seed coat, aleurone layer and embryo.

Measured points were selected at regular intervals within A or B regions.

Fig. 2 Frequency distribution of grey values for each region of pearled barley grains stained in 1986.

Fig. 3 Relation between critical grey value and proportion of the regions misclassified. ●, ▲, ■ indicate 0, 0.5, 1.5 years after staining, respectively.

後1年半を経過した1986年8月染色の精麦粒について、例えば境界の濃度値を50とした時の混入率を求めると、 $(31/549 + 69/513) \times 100 = 19(\%)$ となる。同様に境界となる濃度値を30から10ごとに70まで変化させた時の混入率の変化を、染色後の経過年数が異なる3種の精麦粒について調べた。その結果をFig. 3に示す。染色後0、0.5、1.5年を経過した精麦粒について、混入率が最小となる濃度値はそれぞれ50、60、50であり、染色後経過年数による大きな変動は認められなかった。仮に染色後の経年変化により呈色の程度が弱まるとすれば、胚乳部で60以下の濃度値の占める頻度が経過年数に応じて小さくなると考えられる。Table 1からその頻度を計算すると、染色後の経過年数が0、0.5、1.5年に対し、それぞれ16.0、9.1、17.1%となり、経過年数による減少の傾向は認められなかった。したがって少なくとも染色後1年半以内では、経年変化による色の変化は濃度値の分布等には明確に示されず、しきい値の変化も生じないと考えられる。これらの結果は、M.G.染色による精麦程度の評価法(谷ら1952)が安定した方法であることを裏付けている。

背景から精麦粒を抽出する濃度値範囲は、精麦粒の画像と重なる濃度値の領域を画面上の操作で探索することにより、0-150と設定すればよいことがわかった。

つぎに一画面上に何粒を取り込んで計測すれば適切な評価ができるかを定めるために、1988年1月に染色した精麦粒を用い、全粒抽出濃度値範囲を0-150、しきいの濃度値を50として一画面上に取り込む計測粒数を10粒から10粒単位で100粒まで変化させ、各5回反復して精麦程度指標とその変動係数を調べた。ただし画像を取り込むTVカメラレンズの倍率は粒数の変化にかかわらず一定とした。その結果をTable 2に示す。5回反復での変動係数は、計測粒数が10-20粒では30%前後、30-50粒では25%前後、60-100粒では20%前後へと推移し、計測粒数が多くなるほど小さくなった。変動係数の移動平均(3点)も同様の傾向を示した。また精麦程度指標の平均値は計測粒数が10粒の時は23.3%であったが、60-100粒では10.1-12.0%と安定した。計測粒数が増加するにつれて精麦程度指標が小さくなる傾向がみられた原因は、全粒および濃度値範囲0-50の部分の面積計測値が計測粒数の増加に比例していないためである。例えば計測粒数が10粒から100粒と10倍になった時、全粒面積は12.6倍、濃度値範囲0-50の部分の面積は6.5倍となった。同様に計測粒数が10粒から50粒、20粒から100粒、50粒から100粒と増加した時、全粒面積はそれぞれ5.6, 5.9, 2.2倍となり、濃度値範囲0-50の部分の面積はそれぞれ3.3, 3.6, 2.0倍となった。このように50粒と100粒の比較ではほぼ粒数の増加に比例した計測結果が得られたが、一般に粒数の増加に対して、全粒面積は大きく、濃度値範囲0-50の部分の面積は小さく計測される傾向がみられた。全粒面積が大きく計測される理由としては、粒数の増加に伴って粒どうしが接触した場合、接触点付近の領域を粒の一部として計測する傾向があることが考えられる。濃度値範囲0-50の部分の面積が小さく計測される理由については現在のところ明確な説明はできない。

さらに粒の腹面、背面での値の違いをみるため、1988年1月に染色した精麦粒6粒について1粒ごとに背腹両面の精麦程度指標を調べた。その結果をTable 3に示す。腹面の精麦程度指標は23.1%から37.3%の範囲にありその平均値は28.1%であったのに対し、背面では3.6%から14.5%の範囲にあり平均値は7.4%であった。また各粒についての腹面と背面の平均値は13.6%から25.9%の範囲にあった。このように精麦粒の背腹面間で精麦程度指標の差異が大きいため、計測粒

Table 2. Variation of the index of pearling grade by the number of grains measured

No. of grains measured	Index of pearling grade ¹⁾ (%)					Mean	C.V ²⁾ (%)	Moving average of C.V (3 points)
	1	2	3	4	5			
10	27.5	18.4	31.1	15.2	24.1	23.3	28	
20	12.2	22.0	27.5	14.5	22.1	19.7	32	29
30	11.0	10.0	16.0	19.0	16.5	14.5	26	27
40	13.3	16.8	14.9	13.5	8.6	13.4	23	25
50	13.0	8.6	15.1	17.8	16.0	14.1	25	21
60	9.9	8.9	13.3	10.4	11.5	10.8	16	20
70	9.7	11.3	8.3	13.4	13.0	11.1	19	19
80	7.3	8.5	12.9	13.0	8.8	10.1	22	18
90	11.2	12.5	9.6	9.1	9.9	10.5	13	19
100	16.2	10.1	10.6	13.3	9.7	12.0	23	

¹⁾proportion of the regions with grey value 0-50 to the whole grain area with grey value 0-150.

²⁾coefficient of variation.

Table 3. Index of peeling grade of a grain for both ventral and dorsal side

Grain	Index of pearling grade ¹⁾ (%)		Mean
	Ventral side	Dorsal side	
1	25.3	3.6	14.5
2	23.1	4.1	13.6
3	37.3	14.5	25.9
4	24.8	7.7	16.3
5	32.1	5.0	18.6
6	25.8	9.4	17.6
Mean	28.1±5.5	7.4±4.1	17.8

¹⁾ proportion of the regions with grey value 0-50 to the whole grain area with grey value 0-150.

Table 4. Evaluation of pearling grade of standard samples by image analysis method¹⁾

Grade ²⁾	Index of pearling grade ³⁾ (%)				Mean±S.D. ⁴⁾
1	5.7	5.6	5.6	5.4	5.6±0.1
2	7.2	7.8	7.4	8.6	7.8±0.6
3	12.6	9.2	8.2	9.5	9.9±1.9
4	16.7	13.1	18.1	18.3	16.6±2.4
5	20.6	23.9	21.9	23.7	22.5±1.6

¹⁾ 60 grains were measured simultaneously.

²⁾ 1: best 2: first grade of medium 3: second grade of medium 4: third grade of medium 5: worst.

³⁾ proportion of the regions with grey value 0-50 to the whole grain area with grey value 0-150.

⁴⁾ standard deviation of each measurement.

数が少ない時は背腹面の比率が異なり計測ごとの変動が大きくなると考えられる。以上の結果から計測粒数が60粒以上であれば、背腹面の比率や粒間変異に由来する誤差がある程度小さくなるので、比較的再現性の良い結果の得られることが明らかとなった。

2. 基準サンプルの計測

画像解析法で求めた精麦程度指標が基準サンプルの階級にどう対応するのかを調べるために、1986年8月に染色した基準サンプル(肉眼観察による評価が上下、中上、中、中下、下の5階級)について、各階級4回の反復で画像解析法による精麦程度評価を行った。計測は全粒抽出濃度値範囲0-150、胚乳部とその他の部位とを区分するしきい濃度値を50、一画面上に取り込む計測粒数を60粒として行った。その結果をTable 4に示す。精麦程度指標(%)の平均値および標準偏差は、「上下」(grade 1)が5.6±0.1, 「中上」(grade 2)が7.8±0.6, 「中」(grade 3)が9.9±1.9, 「中下」(grade 4)が16.6±2.4, 「下」(grade 5)が22.5±1.6であった。分散分析を行った結果(Table 5), 反復間では有意差が認められず、階級間では有意差が認められ、最小有意差

Table 5. Variance analysis of pearling grade index

Source	d. f.	S. S.	M. S.	F
Grade	4	777.2	194.3	79.3**
Residual	15	36.8	2.45	

LSD (5%)=2.4

** : significant at 1% level.

Table 6. Evaluation of pearling grade of standard samples by image analysis method on different date¹⁾

Grade ²⁾	Sample No.	Index of pearling grade ³⁾ (%)				Mean ± S.D. ⁴⁾
		'88.12.23	'88.12.24	'88.12.25	'89.1.8	
1	1	7.5	5.6	6.1	7.0	6.7 ± 1.1
	2	7.8	4.9	6.4	5.5	
	3	8.6	8.1	6.7	6.7	
	Mean	8.0	6.2	6.4	6.4	
2	1	10.4	7.7	9.1	6.6	8.9 ± 1.5
	2	9.1	7.3	9.9	6.7	
	3	10.3	11.3	9.4	8.5	
	Mean	9.9	8.8	9.5	7.3	
3	1	12.0	10.6	10.2	9.2	9.8 ± 1.5
	2	12.6	8.8	9.6	10.2	
	3	8.9	8.5	10.1	7.3	
	Mean	11.2	9.3	10.0	8.9	
4	1	19.8	14.4	18.6	14.7	19.1 ± 2.4
	2	21.5	22.7	21.9	20.3	
	3	19.3	18.9	20.3	17.2	
	Mean	20.2	18.7	20.3	17.4	
5	1	24.5	24.2	23.4	15.3	22.8 ± 3.3
	2	22.5	21.0	20.4	19.8	
	3	27.5	24.0	25.6	25.8	
	Mean	24.8	23.1	23.1	20.3	

¹⁾ 60 grains were measured simultaneously.

²⁾ 1: best 2: first grade of medium 3: second grade of medium 4: third grade of medium 5: worst.

³⁾ proportion of the regions with grey value 0-50 to the whole grain area with grey value 0-150.

⁴⁾ standard deviation of each measurement.

Table 7. Variance analysis of pearling grade index

Source	d.f.	S.S.	M.S.	F
Grade	4	796.6	199.15	468.6**
Date	3	20.1	6.7	15.76**
Residual	12	5.1	0.425	

LSD (5%)=1.0

**: significant at 1% level.

(5%)は2.4であった。したがって4回の計測を行えば、「上下」、「中」、「中下」、「下」の各階級間は画像解析法による評価値で区分できることがわかった。

つぎに計測日時の違いが計測値の変動におよぼす影響をみるために、5階級各3サンプルずつ、日時を変えて4回の計測を行った。その結果をTable 6に示す。各階級ごとの精麦程度指標(%)の平均値および標準偏差は、「上下」(grade 1)が 6.7 ± 1.1 、「中上」(grade 2)が 8.9 ± 1.5 、「中」(grade 3)が 9.8 ± 1.5 、「中下」(grade 4)が 19.1 ± 2.4 、「下」(grade 5)が 22.8 ± 3.3 であった。分散分析を行った結果(Table 7)、計測日時が計測値におよぼす影響が認められた。しかし計測日時の異なる計測値を反復として扱っても階級間差が認められ、「中上」と「中」の間を除く各階級間は、画像解析法による評価で区分できることがわかった。

以上の結果から画像解析法を用いて精麦程度を数量的に評価することが可能であると結論される。ただしその区分できる階級は、4回の反復を行った場合、基準サンプルの「上下」、「中」、「中下」、「下」の4階級であると考えられる。

3. 肉眼判定と画像解析結果との関係

前節2.において「上下」から「中」の間の3階級を2階級に区分すれば、基準サンプルの肉眼観察による階級評価と画像解析法による評価とが対応することが明らかになった。そこで既に肉眼判定済みの生産力検定試験材料について画像解析法による精麦程度の評価を行い、肉眼判定で同一の階級に評価したサンプルが、画像解析法ではどのような精麦程度指標の分布を示すかを、基準サンプルの計測結果と比較しながら調べた。全粒抽出濃度値範囲、しきい濃度値および計測粒数は前節と同じとした。その結果をFig. 4に示す。肉眼判定で「中上」(first grade of medium)と評価された21系統の精麦程度指標(%)は8.4から27.0の範囲にあり、その平均値および標準偏差は 16.3 ± 5.1 (以下これを8.4~27.0(16.3 ± 5.1)と表す)であるのに対し、基準サンプル「中上」では6.6~11.3(8.9 ± 1.5)であった。また肉眼判定で「中」(second grade of medium)と評価された71系統の精麦程度指標は11.1~35.0(20.6 ± 5.3)であるのに対し、基準サンプル「中」では7.3~12.6(9.8 ± 1.5)であった。すなわち肉眼判定で「中上」と評価された系統の方が「中」と評価された系統よりも精麦程度指標の平均値は小さかったが、両者とも基準サンプルの精麦程度指標の範囲とのずれは大きかった。前節2.の結果から基準サンプルの「中上」と「中」の間には有意差が認められなかったため、肉眼判定で「中上」または「中」と評価された92系統の内、基準サンプルの「中上」または「中」の精麦程度指標の範囲内にあったのは15系統であり、77系統は基準サンプルの精麦程度指標から判断すると「中下」または「下」と評価されるべきものであった。

つぎに肉眼判定で「中下」(third grade of medium)と評価された21系統の精麦程度指標は11.5

Fig. 4 Reevaluation of pearling grade by image analysis method for the result of the eye evaluation.

■: standard samples, —●—: mean $\pm$ S.D.
 ¹¹) proportion of the regions with grey value 0-50 to the whole grain area with grey value 0-150.
 S.D.: standard deviation of each measurement.

～43.0 (23.6 ± 8.8) であるのに対し、基準サンプル「中下」では 14.4～22.7 (19.1 ± 2.4) であった。同様に「下」(worst) と評価された 3 系統の精麦程度指標はそれぞれ 28.8, 33.0, 41.6, であり、基準サンプル「下」では 15.3～27.5 (22.8 ± 3.3) であった。肉眼判定で「中下」と評価された 21 系統の内、基準サンプルの精麦程度指標の範囲内にあったのは 10 系統であった。また「下」と判定された 3 系統の精麦程度指標の値は基準サンプルのそれよりも大きかったが、「下」が最下位の階級であるのでこの結果は基準サンプルに基づいた妥当なものと言える。

以上のように肉眼観察により同一の階級として評価を下した基準サンプルと検定材料でも、画像解析法では異なる階級として評価する場合があることがわかった。その原因は肉眼判定法および画像解析法の双方から考える必要がある。Fig. 4 から肉眼観察評価は必ずしも基準サンプルに忠実に基づいたものではないことが示唆されるが、肉眼判定法の問題点として、観察者が基準サンプルとは関係なく検定時を同じくする対象内だけの相対評価を無意識のうちにやっている可能性が考えられる。一方画像解析法の問題点として、単色計測による方法では、例えば桃色でも濃く染色された部分の濃度値は青～黒色に染色された部分と同じ濃度値を示すというように、染色程度の強さが精麦程度の評価に影響を与える可能性が考えられる。濃度だけでなく色相により染色部位の区分を行う画像解析法の開

発が今後の課題である。

謝 辞

本研究遂行にあたり、終始懇切、適切な御指導、御助言を賜り、かつ本論文の御校閲を頂いた農業研究センター牧野徳彦博士に深く感謝します。また本論文をまとめるにあたり、懇切、丁寧なる御教示を頂いた農業環境技術研究所鶴飼保雄博士に深謝の意を表します。

引用文献

- 増田澄夫 1974. 育種の技術. “育種ハンドブック” 松尾孝峯監修, 養賢堂, 東京. 158.
- 谷達雄・竹生新次郎・鹿野忠雄 1952. 穀粒に対する一新 M. G. 染色法について (第 1 報) 精麦および精米への応用. 食糧研究所報告 6: 75-78.
- 1959. 日本の大麦. 食糧 3: 26-37.

Summary

Image analysis method has been employed in order to establish an objective evaluation method of pearling grade in barley which has been usually evaluated by observation with naked eyes.

Pearled barley grains were stained pink (endosperm) or blue to black (furrow, seed coat, aleurone layer and embryo) with M. G. solution (Fig. 1). Grey values for each region were measured by monochromatic image analysis method (Table 1, Fig. 2), and these two regions were classified by critical grey value. In this report, critical grey value was found to be 50 (Fig. 3). The proportion of the area of regions with grey value 0-50 to the whole grain area with grey value 0-150 was measured, and was used as the index of peeling grade. The adequate number of grains measured was found to be 60 (Table 2).

Evaluation of standard samples (classified 5 grades by observation) by image analysis method was in Table 4. The value of the index was inversely related to the degree of pearling grade. The degree of pearling grade by image analysis method could be divided into four statistically significant categories (Table 5). Comparison between conventional observation method and image analysis method showed that the results of eye evaluation were not always based on standard samples (Fig. 4).

These results suggest that pearling grade of barley could be evaluated objectively by image analysis method.

T. FUKUOKA¹⁾

K. FUKUI²⁾

¹⁾National Agriculture Research Center, Tsukuba 305

²⁾National Institute of Agrobiological Resources, Tsukuba 305

(Present address: Hokuriku National Agricultural Experiment Station, Joetsu 934-01)