

開花期の切り穂接種によるオオムギ 赤かび病抵抗性の検定

武田和義・部田英雄・福山利範

ムギ類の赤かび病はコムギ、オオムギ、ライムギ、エンバク、トウモロコシなど多くのイネ科作物の穀粒を侵して品質・収量を低下させ、そのうえ、食中毒の原因ともなるかび毒を生じる重大な病害であり、19世紀末から文献上の記載が認められる⁹⁾。

西門⁹⁾は、赤かび病の病原菌を *Fusarium graminearum* Schwabe [*Gibberella zeae* (Sch.) Petch] としたが、最近では *F. roseum* Lk. f. sp. *cerealis* (Cke.) Snyder et Hans. "Graminearum" [*G. zeae* (Sch.) Petch] という表記が多い。

不完全世代のフザリウム菌はイネ科雑草、稲ワラ、麦ワラ、トウモロコシの稈、地中の有機物などに腐生的に寄生し、Root rot, Foot rot, Seedling blight などと呼ばれる根腐れ病や立枯れ病をひき起こす極くありふれた菌で、イネ科植物だけでなく、マメ科植物、ウリ科植物、ワタ、サツマイモなど多くの植物を侵すことが知られている。従って、赤かび病をひき起こす病原菌は至る所に豊富にあると見なければならぬ。

事実、Scab, Ear blight, Head blight, Fusarium blight, Fusarial head blight などと呼ばれる赤かび病は、南北アメリカ、アジア、ヨーロッパ、アフリカの各大陸ならびに大洋州で発生している。我国でも麦作地帯のすべてで多少とも発生が認められ、一般に開花、登熟期に雨の多い地域、潮風を受ける地域、海岸や湖岸などの霧が出やすい地域で発生が多いとされている⁴⁾。

我国では戦後、ムギ類の作付が減少すると共に赤かび病に関する研究も少なくなっていたが、最近、水田利用再編成などによってムギ類の栽培面積が増大すると共に赤かび病の重要性が見直されつつある²⁾。一方、フザリウム毒であるトリコテセンの微量定量が可能になったこともあって、食品衛生の立場からも赤かび病が注目されている¹⁰⁾。

ムギ類赤かび病の感染機構や品種抵抗性についてはコムギを対象とした研究が多く、Pugh⁷⁾は、コムギ赤かび病の感染が開花期前後の比較的短い期間に起こること、また、穎の中に残った葯の残がいにより最初の感染が起こり、菌糸が生長して穀粒に侵入することなどを見出した。その後の多くの研究によって、感染が開花期前後に起こることは定説となっている。

赤かび病の第一次発生源は子のう胞子であるとされており、子のう胞子が飛散するには子のう殻が雨や露にぬれて膨潤することが必須であり、胞子が発芽して菌糸が生長するには飽和に近い多湿条件が必要であるため、開花、登熟期における降雨パターンが赤かび病発生の支配的要因であるとされている³⁾。

ムギ類赤かび病には免疫的な抵抗性がないと言われ²⁾、最近では農業による防除法が検討されているが³⁾、コストの面からも安全性の面からも抵抗性品種の育成が望まれる。

抵抗性育種において最も重要なのは、大量の材料を適確に評価し得る検定方法を確立して抵抗性の母本を検索し、交雑後代の選抜を可能にすることである。前述のようにムギ類赤かび病は開花から登熟初期に感染するので、抵抗性の検定にあたっては開花期のそろった材料に接種しなければならないが、品種比較や個体選抜など、大量の材料を取りあつかう場合に、その生育段階をそろえるのは容易でない。また、赤かび病菌の胞子が発芽して感染が起こるには25°C程度の高温と飽和に近い多湿条件が必要であるが、開花、登熟期のムギをそのような条件下で健全に生育させることも容易でない。

従来、高湿接種温室を利用する方法⁴⁾や圃場における自然発病を何年間か反復観察する方法¹⁾など、いくつかの検定方法が提案されているが、ムギの早晚性によって判定が影響されたり、降雨と開花期のタイミングによって発病が支配されるなど、それぞれに短所がある。

著者らは、従来提案されたいくつかの方法を検討したうえで、大量の材料を適確に検定し得る新しい方法として“切り穂検定法”を考案し、抵抗性オオムギ品種の検索に適用したのでその概要を報告する。

本研究の契機を与えられ、御高閣を賜わった岡山大学名誉教授日浦運治博士ならびに研究費の一部を援助された財団法人ビール酒造組合と財団法人大原奨農会に謝意を表す。

材料および方法

1. 材 料

検定材料としては、岡山大学農業生物研究所大麦系統保存施設が保有する栽培オオムギ (*Hordeum vulgare* L. s. l.) 約4,600品種から1,523品種 (Table 3) を供試した。

材料は水田跡の圃場に1983年11月8日、8 cm 間隔で2条千鳥植えし、慣行法に従って肥培管理した。開花期に後述する方法で穂を採取し、赤かび病菌子のう胞子 (*Gibberella Zeae* 菌株番号 OUGZ 17) を噴霧接種した。

2. 検 定 方 法

前述のように、赤かび病は開花期前後の比較的短い期間に感染すること、ならびに胞子が発芽して感染が起こるには、25°C程度の高温と飽和に近い多湿条件が必要であることが明らかにされているので、大量の材料に対して正確に開花期に接種し、確実に発病させることを眼目として次のような接種方法を考案した。

開花期の穂を各品種3本ずつ第2節間で切り取り、品種名を記した荷札をつけ、水道水を掛け流したステンレス製のバットに立てる。この時、試験管立てを利用すると切り穂を立てるのに便利で、24×24 cmの試験管立て1個に30~40品種の穂を立てることができる。

これに200倍視野あたり15個程度に調整した胞子懸濁液を二連球を使って十分に噴霧する。赤かび病の第一次発生源は分生胞子ではなく、子のう胞子であることが知られているので、著者らは接種源として稲ワラに形成させた子のう殻から取った子のう胞子を用い

Table 1. Evaluation of resistance to Fusarium blight by infected spikelet percentage with the cut-spike inoculation method

Infected spikelet (%)	0	1-5	6-20	21-40	41-100
Classification	RR	R	M	S	SS

RR: Highly resistant. R: Resistant. M: Medium. S: Susceptible. SS: Highly susceptible.

ている。

供試品種の開花期には約1ヶ月の幅があったので、1984年4月28日から5月31日まで、ほぼ3日毎に13回にわたって接種を行い、播種期を変えて養成しておいたキカイハダカ（やや弱）を標準品種として毎回供試した。

接種後2日間は、25°Cに制御したガラス室の中にビニールテントを張った湿室に置いて感染させ、その後7日間は23~13°C（倉敷の5月中旬の平均気温）の範囲で正弦曲線に従って変温した湿度95%のファイトロンに置いた。光の条件は照度5,000 lux、日長14時間とした。オオムギおよびバットからの蒸発散と、掛け流しの水道水の蒸発があるので湿度を保つのは容易である。接種後4日目頃から罹病粒の黄褐変が認められるようになる。

接種後9日目に肉眼で罹病粒を判定し、Table 1に示す基準に従って罹病粒歩合で抵抗性程度を判定した。各品種3穂を供試し、3穂の判定が一致しない場合は、エスケープの疑いがあるので最も強く判定された穂を除いて総合判定した（Table 2）。

なお、判定の再現性を見るために一部の品種を翌年再検定した。

結果および考察

1. 品種変異

供試1,523品種の赤かび病抵抗性の変異を地域別に整理してTable 3に示す。ここでは抵抗性程度を数量化するために、RRを0、SSを8とする9段階の罹病指数を与えた（Table 2）。最も強いと見られる品種の判定はRで、RRおよびRR~Rの品種は見出されなかった。

従来言われているように、二条品種は六条品種よりも抵抗性が強かった。二・六条の同質遺伝子系統対においても二条型は六条型よりも有意に強い（武田 未発表）ので、条性遺伝子（Vv）の多面作用か、条性遺伝子と抵抗性遺伝子の密接な連鎖、あるいは二条型と

Table 2. Examples of evaluating resistance to Fusarium blight by cut-spike inoculation from reaction of three spikes examined

Classification of each spike*			Classification of the variety	Score
RR	RR	RR	RR	0
RR	RR	R	RR-R	1
RR	R	R	R	2
R	R	M	R-M	3
R	R	S	M	4
M	M	S	M-S	5
M	M	SS	S	6
M	S	SS	S-SS	7
S	SS	SS	SS	8

*: cf. Table 1.

The most resistant spike was neglected from evaluation.

Table 3. Varietal variation of reaction to Fusarium blight by cut spike inoculation

Resions	Number of varieties with score* of							Total	Mean score	
	2	3	4	5	6	7	8			
Six-rowed										
China		3	4	10	20	8	14	59	6.15	
Japan		1	20	29	38	41	90	219	6.68	
Europe		1	1	8	11	8	31	60	6.95	
Korea			5	12	22	32	88	164	7.04	
Nepal			1	5	13	10	58	87	7.37	
Africa			1	5	6	13	45	70	7.37	
South-west Asia			3	5	16	20	85	129	7.39	
Turkey		1	1	5	8	14	71	100	7.46	
Ethiopia				6	25	44	142	217	7.48	
Others				2	1	7	26	36	7.58	
Total			11	36	87	160	197	650	1,141	7.14
Two-rowed										
China				2				2	5.00	
Japan			5	2	6	3	2	5	23	5.43
Europe	2	4	8	26	28	12	18	98	5.86	
Others			2	1	7	2	2	14	6.07	
Ethiopia			2	12	20	19	16	69	6.51	
Turkey			6	29	46	27	60	168	6.63	
South-west Asia					1	2	5	8	7.50	
Total	2	9	20	76	105	64	106	382	6.33	

*: cf. Table 2.

六条型の形態的な差異などが抵抗性の差異をひき起こしているものと見られる。

ほとんどの地域において六条型では SS の階級に属する品種が最も多く、二条型では過半の品種が S から SS の階級に属するが、品種変異は大きく、M よりも強い品種も存在した。品種変異の度数分布は Fig. 1 に示されるように、六条型と二条型で明らかに異なっているが、これは罹病粒歩合 41% 以上を一括して SS と評価しているために抵抗性の弱い六条品種の多くが SS の階級に集中したことによる。

罹病指数の平均値で見ると、日本、朝鮮半島、中国大陸、ヨーロッパの品種が強く、エチオピア、トルコ、西南アジア（インド、パキスタン、アフガニスタン、イラン、イラク）の品種が弱い傾向が認められる。これらの差異が、各地域の気象条件、栽培方法などどのような関係にあるか興味深い。なお、日本および中国大陸の二条品種は主としてヨーロッパからの導入品種、あるいはその子孫である。

前述のように、接種条件は六条品種では 57%、二条品種でも 28% が SS と判定されるほどに厳しかったが、それでも罹病粒歩合が 20% 以下の M より強いと判定された品種が六条で 47 品種（4%）、二条で 31 品種（8%）あった。これらの品種の並渦性、皮裸性、

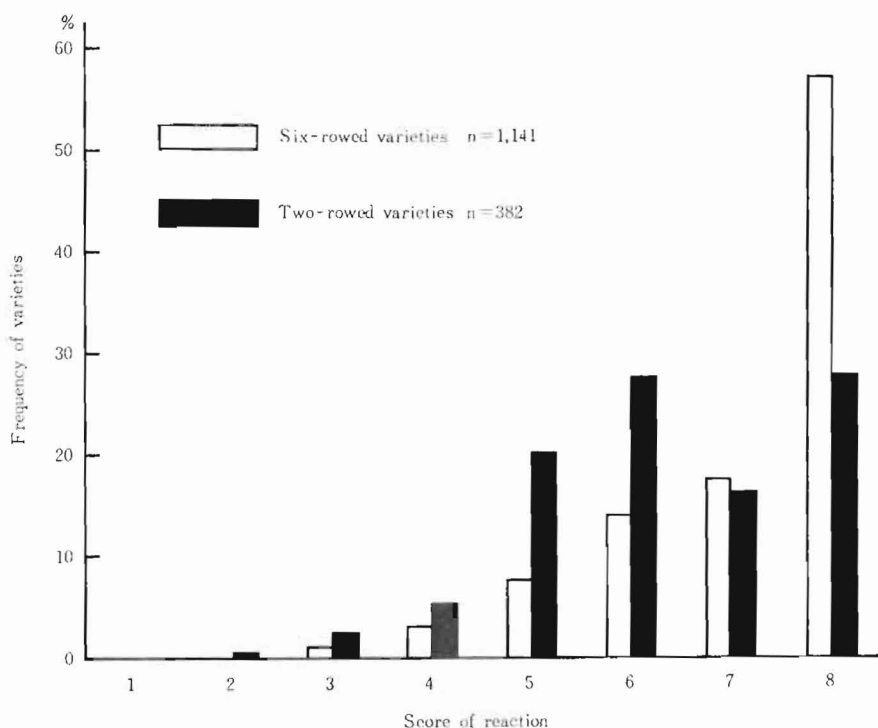


Fig. 1. Frequency distribution of barley varieties for resistance to Fusarium blight by cut-spike inoculation.

Table 4. Types of barley varieties with resistant or medium reaction to Fusarium blight

Six-rowed	Normal	Uzu, semi-dwarf		
	33*	14		
	Covered	Naked		
	25	22		
Two-rowed	Lax spike	Dense spike		
	30	17		
	Spring habit	Winter h.	Unknown	
	25	18	4	
Six-rowed	Normal	Uzu, semi-dwarf		
	31	0		
	Covered	Naked		
	30	1		
Two-rowed	Lax spike	Dense spike		
	22	9		
	Spring habit	Winter h.	Unknown	
	22	1	8	

*: Number of varieties.

穂の疎密、播性などは Table 4 に示す通りで、渦性二条はもともと存在しないが、それ以外はすべてのタイプが見出される。

従来、圃場の自然発病では疎穂よりも密穂が赤かび病に弱いと見られていたが、切り穂検定の結果、密穂で抵抗性の品種が多数あり、粒着が非常に密になる渦性密穂 (*uz, l*) 型も 2 品種が M より強い群に含まれていた。従って圃場の自然発病で疎穂型が強く見えるのは、穂の風通しや水きれが良いことによる一種のエスケープによるのかも知れない。

切り穂検定で M より強いと判定された品種は後述するよう

に、圃場条件では R~RR となる。従ってこれらの品種は赤かび病抵抗性の遺伝子源として注目され、著者らは当研究所大麦系統保存施設が保有する約 4,600 の栽培品種すべてについて検定をすすめている。

2. 判定の再現性

A. 年次変異

1984年の検定でMより強と判定された品種を含む 122 品種を1985年に再検定した結果を Fig. 2 に示す。

供試品種の抵抗性程度はMと SS に片寄っているので、年次間の相関係数を算出するのは適当でないが、両年の判定は全体として良く一致しており、罹病指数で±1点までを

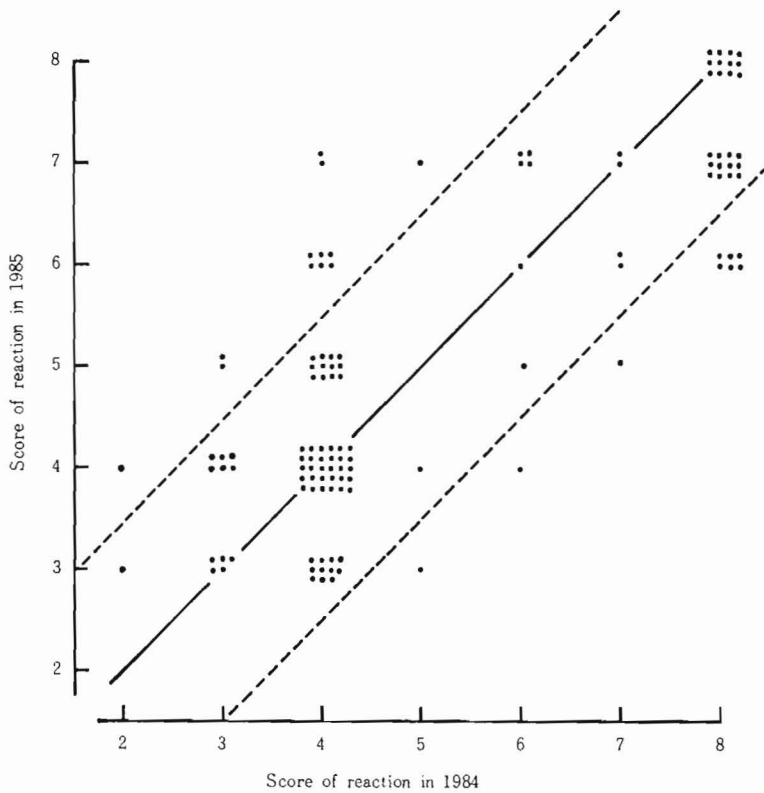


Fig. 2. Stability of reaction of barley varieties to Fusarium blight by cut-spike inoculation in 1984 and 1985. Each dot stands for a variety.

許容範囲とすれば、122 品種中 98 品種 (80%) で判定が再現されたといえる。いずれも 1 品種 3 本の穂を検定しているが、検定する穂を増やすことによって検定精度をより高めることができると考えられる。なお、両年共にMより強と判定された品種については更に検定を重ね、抵抗性母本としての有用性を確認する予定である。

B. 品種内変異

標準品種のキカイハダカ（やや弱）と極弱の HES 4 の各々約 70 穂について検定した結果を Table 5 に示す。Table 5 によれば品種内変異も平均値±1 点の範囲にはほぼ納まっていると見ることができる。しかしながら、平均値からかなりかけ離れた穂も認められるので、あまり少数の穂で抵抗性を判定するのは危険である。

Table 5. Intra-variety variation of reaction to Fusarium blight by cut-spike inoculation in varieties Kikaihadaka and HES 4

Variety	Number of spikes with the score* of				Total	Mean score
	2	4	6	8		
Kikaihadaka	1	42	25	1	69	4.75
HES 4		1	25	46	72	7.25

*: cf. Table 2.

3. 圃場検定との関係

圃田と目蒲¹⁾は Table 2 に示される品種とは別の 1,515 品種の自然発病を 3 年間にわたって圃場で反復調査し、3 年間を通じて罹病粒歩合が 5% 以下の高度抵抗性 (23 品種)、3 年間の平均罹病粒歩合が 6~10% の普通抵抗性 (44 品種)、同じく 11~40% の中間性 (1,414 品種) および 3 年間を通じて罹病粒歩合が 41% 以上の高度罹病性 (34 品種) の 4 群に群別した。

それらの品種の一部について切り穂検定を行い、自然発病による圃場検定の抵抗性程度と対比した結果を Table 6 に示す。Table 6 によれば、圃場検定で高度および普通抵抗性と判定された品種のほとんどは切り穂検定で M より強と判定されており、圃場検定で中間および高度罹病性と判定された品種のほとんどは切り穂検定で M より弱と判定されている。

すなわち、本研究の切り穂検定で M より強と判定された品種は、圃場での自然発病に対して実用的に抵抗性であるとして大過ないものと思われる。なお、Table 6 によれば、圃場検定で中間性と判定された品種と高度罹病性と判定された品種の切り穂検定に対する抵抗性には差異が認められないので、両者の抵抗性には本質的な差異は存在せず、中間性と評価された品種も条件によっては甚しく罹病する可能性があるものと考えられる。

Table 6. Relationship between the reaction to Fusarium blight evaluated by the field observation and by the cut-spike inoculation

Reaction in the field	Number of varieties with the score* of cut-spike inoculation method						
	2	3	4	5	6	7	8
Highly resistant	2	9	10	2			
Resistant	3	3	3				
Medium		1	1	1	3	3	1
Susceptible			4	6	10	8	6

*: cf. Table 2.

前述のように、赤かび病の第一次発生源である子のう胞子は子のう殻が水にぬれて膨潤しなければ飛散せず、また胞子の発芽には飽和に近い多湿条件が必要であるから、自然発病による圃場検定では品種の開花期と降雨のタイミングによってしばしばエスケープが起こり、本来は罹病性の品種が抵抗性と誤って判定される場合がある。従ってオオムギ赤かび病の選抜にあたっては、まず切り穂検定を行い、Mより強いと判定された材料をその後の現地試験等に供する方が確実と考えられる。

切り穂検定は穂単位で検定できるので、他の方法に比べて場所をとらず、1984年には栽培オオムギ約1,500品種と、本報告ではふれなかった野生種と同質遺伝子系統など合計約1,900品種・系統、5,700本の穂を1.5 m²の接種室と3.7 m²のファイトロンで処理できたことを付記する。

なお、本研究では赤かび病抵抗性母本の検索を目的としたため、Table 1に示されるようにS~SSが過半を占めるような厳しい罹病条件を与えたが、研究の目的によっては、接種から判定までの期間を短縮するなど様々な方法で発病程度を軽減することが可能である。出穂期のそろった比較的少数の材料を検定するには他のより良い方法もあるだろうが、出穂期の幅が大きい大量の材料を検定するにはこの“切り穂検定法”が実用的にすぐれた方法の一つであると言えよう。

摘 要

ムギ類赤かび病は開花から登熟初期に感染し、また発病には高温・多湿条件が必要なので、開花期の異なる大量の材料の抵抗性を正確に評価するのは容易でない。そこで、材料の生育段階をそろえ、制御環境下で抵抗性を検定する方法として“切り穂検定法”を考案し、抵抗性品種の検索を試みた。

1. 切り穂検定法. 開花期の穂を第2節間で切り取り、止葉をつけたまま水道水を掛け流したバットに立て、子のう胞子懸濁液を噴霧接種する。接種後2日間は25°C、湿度100%、その後7日間は23~13°C変温、湿度95%以上の制御環境下におく。光の条件は5,000 lux、日長14時間とする。接種後9日目に罹病粒歩合によって抵抗性を判定する (Table 1, 2)。

2. 抵抗性の品種変異. 世界各地の1,523品種を検定したところ、無発病の極強品種は見出されなかったが、品種間差異は明らかで、中国大陸、日本、朝鮮半島およびヨーロッパの品種はエチオピアおよび西南アジアの品種よりも強い傾向が認められ (Table 3)、また、二条型品種は六条型品種よりも強かった (Fig. 1)。なお、抵抗性程度が上位の品種群には、並渦性、皮裸性、穂の疎密、播性などに関して多様なタイプが認められた (Table 4)。

3. 判定の再現性. 品種内変異 (Table 5) においても、年次変異 (Fig. 1) においても、9段階評価で±1点程度の誤差で抵抗性が判定できるものと認められた。

4. 圃場検定との関係. 圃場において強~極強と判定された品種は切り穂検定ではほとんどMより強く、一方、並~弱と判定された品種はほとんどMより弱かった。従って、オオムギの赤かび病抵抗性育種にあたっては、切り穂検定法によってMより強いと判定された材料を選抜すれば、実用的に抵抗性の系統を得ることができると考えられる。

引用文献

1. 部田英雄・日浦運治, 1962, 赤かび病に対する抵抗性の品種間差異, オオムギの耐病性に関する研究, 第13報, 農学研究 49: 177-187.
2. 堀 真雄, 1985, コムギおよびオオムギ赤かび病の発生生態と防除法, 農業および園芸 60: 431-436.
3. 井上成信・西門義一, 1959, 麦赤かび病に関する生態学的研究, 第1報, 子のう胞子の飛散と一次感染の時期について, 農学研究 46: 164-179.
4. 石井 博, 1961, ムギ類赤かび病の流行機構に関する研究, 徳島県農試特別報告 3: 1-121.
5. 内藤秀樹・茂木静夫・牛腸英夫・平井俊臣, 1984, 麦類赤かび病に対するコムギ品種の耐病性簡易検定法, 九州農試報告 23: 355-386.
6. 西門義一, 1958, コムギのアカカビ病防除に関する研究, 農業改良技術資料 97: 1-162.
7. Pugh G. W., Johann, H. and Dickson, J. G. 1933. Factors affecting infection of wheat heads by *Gibberella saubinetii*. J. Agr. Res. 46: 771-797.
8. 斎藤初雄, 1984, ムギ類赤かび病の発生と防除, 植物防疫 38: 58-63.
9. Selby, A. D. 1898. Some diseases of wheat and oats. Ohio Agr. Expt. Sta. Bull 97: 40-42.
10. 芳沢宅美, 1984, トリコテセン系カビ毒, 防菌防黴誌 12: 241-250.

A Test of Fusarium Blight Resistance of Barley by Inoculation on Cut-Spikes at Anthesis

KAZUYOSHI TAKEDA, HIDEO HETA and TOSHINORI FUKUYAMA

Summary

The Fusarium blight or scab is a floral infection and its epidemic depends upon climatic condition at ripening stage of the barley varieties. For testing the varietal resistance of barley to the Fusarium blight the authors have devised 'cut-spike inoculation method'.

To inoculate materials exactly at anthesis, spikes were cut from plants at the second internode, and were arranged in a pan with overflowing water. These treatments kept the spikes and the leaves fresh, and spikes continued to ripen. Spikes were inoculated with ascospore suspensions of *Gibberella zeae*, and kept at 25°C and at 100% humidity for two days. The materials was then kept for seven days in a growth chamber where temperature and humidity were controlled at 23-13°C (with a sine curve) and more than 95%, respectively. Lighting condition was 5,000 lux and 14 hours a day.

The reaction of varieties to Fusarium blight was evaluated according to the infected spikelet percentage. A total of 1,141 six-rowed and 382 two-rowed varieties were evaluated. Varieties from China, Japan, Korea and Europe seemed to be more resistant than those from Africa and Southwest Asia. Two-rowed varieties were more resistant than six-rowed ones. The Fusarium blight resistance seemed to be independent of types of varieties such as semi-dwarf "uzu", naked kernel, dense spike and

winter habit. The reaction of varieties to *Fusarium* blight evaluated by cut-spike inoculation method was recognized to be stable. Most of the varieties showing a resistant reaction in the field test showed a medium or resistant reaction, while most of the varieties with medium or susceptible reaction in the field test gave a susceptible or medium reaction by the cut-spike inoculation method. These findings indicate that the cut-spike inoculation method may be useful for screening the *Fusarium* blight resistance in breeding program of barley.