**Mechanism of Anther Dehiscence and Floret Sterility
Induced by High Temperature at Flowering in Rice.**
Tsutomu Matsui (Experimental Farm, Kyoto University)

高温による水稻の不稔は、熱帯地域において収量制限要因の一つになっている。インディカを材料としたこれまでの研究によれば、高温による水稻の不稔は、主として開花時の高温により引き起こされ、不稔の直接の原因は高温による開葯の阻害である。しかしながら、イネ科植物の開葯の機構には不明な点が多く、このためもあって開花時の高温がどのようにして開葯を阻害するのか、その機構は分かっていない。また、開花期の高温による不稔発生に対する耐性に品種間差異が存在することが明らかにされているが、この耐性がどのような生理的・形態的要因によるものかは明らかにされていない。一方、懸念されている地球温暖化が現実となれば、日本のような温帯地域においても高温不稔が収量の制限要因の一つになる可能性が指摘されている。そこで、本研究では、主として日本型水稻を対象として、水稻の開葯機構、高温による水稻の開葯阻害の機構を解明し、さらに、高温耐性の品種間差異が生じる理由を明らかにしようとした。

1. 水稻の開葯の原動力

開花直前に水稻の穎花の外穎を除去したり、穎の先端部分を切除したりすると(人為開穎)、直ちに開葯が始まる。この性質を利用して、開葯プロセスの観察、開葯に及ぼす周囲の湿度の影響、花粉粒の直径と開葯との関係を調べた。

開葯は、ストミウムの急激な(一瞬間の間)隆起、大葯胞下端部における葯壁の裂開、半葯上端部におけるストミウムの裂開、上下開口部の横方向の拡大、の順に進行した(第1図)。ストミウムの隆起はセプタムの裂開を示していると考えられた。開穎後、2, 3分以内にセプタムが裂開することがわかった。

低湿度条件は開葯を阻害した(第1表)。低湿度条件で開葯が阻害された葯では、ストミウムの隆起(セプタムの裂開)が認められなかった。一方、高湿度条件では全ての葯のセプタムが裂開したが、開口部は横方向に拡大しなかった。横方向に拡大していない開口部は、低湿度条件に移すことにより拡大した。この結果は開口部の拡大には乾燥が必要であるが、セプタムの裂開には乾燥が抑制的に働くことを示しており、セプタムの裂開の主たる原動力は乾燥による葯壁の反り返りではないと考えられた。

開花2.5時間前の穎花では、人為開穎によって開葯が引き起こされず、花粉粒があまり膨張しないのに対し、開花直前の穎花では開葯が引き起こされ、花粉粒がよく膨張した(第2図)。花粉粒の直径と開葯率との間には密接な関係が認められた(第2, 3図)。これらの結果から、セプタム裂開の原動力は花粉粒の急激な膨張であると考えられた。

2. なぜ開穎と同時に開葯するのか

稲では、人為開穎であろうと自然開穎であろうと、開穎とほぼ同時(人為開穎の場合直後)に開葯する。このことが「開葯の原動力が葯壁の乾燥である」という定説の根拠と考えられた。開葯の始まりであるセプタムの裂開の原動力が、乾燥による葯壁の反り返りではなく花

第1図. 水稻の葯の裂開過程. 左から右へ進行. 鱗は本文参照. (品種: あきたこまち)

第2図. 自然開穎 30 分前および 150 分前に人為開穎された穎花の花粉粒の直径の変化. 白抜きのシンボルは観察したサンプルに裂開した半葯が含まれていなかったことを示す. 縦棒は標準誤差 (n=9) (品種: アキヒカリ)

第3図. サンプリング後の花粉の直径の最大値と半葯の裂開率との関係. *は5%レベルでの有為性を示す. □, 人為開穎された穎花. ○, 人為開穎されなかった穎花. (品種: アキヒカリ)

第1表. 相対湿度が葯の裂開過程に及ぼす影響 (気温 24℃).

	相対湿度 (%)		
	20	60	100
セパタムの裂開率 (%)	46.3	74.1	100.0
葯上端部でのストミウムの裂開率 (%)	46.3	74.1	80.0
大葯胞下端部でのストミウムの裂開率 (%)	46.3	74.1	100.0

第3表. 大麦雌蕊に与えられた圧力と開葯率との関係.

圧力 (g/28mm ²)	穎花の割合 (%)	
	全ての葯が裂開した	全ての葯が裂開しなかった
10	0	100
20	30	70
30	60	40
40	90	30
50	100	0

粉粒の膨張であるとすれば、開穎と開葯はどのような機構により同時に起こるのだろうか。人為開穎が開葯を引き起こすことは人為開穎に伴う何らかの刺激が開葯の引き金となっていることを示している。そこで、閉花受粉する二条大麦の穎花に、人為開穎に伴うさまざまな物理的刺激を与え（第4図）、開穎に伴う刺激が開葯を引き起こす可能性について検討した。

実験の結果、外穎に対する一部の切除や針の貫通自身は開葯を引き起こさないが、葯や子房への針による刺激や雌蕊への圧迫が開葯を引き起こすことが分かった（第2, 3表）。この結果は、開穎の原動力である鱗被の膨張が葯の裂開の引き金となっている可能性を示す。

3. 日本型水稻における高温不稔発生の品種間差異

開花期間中の昼間の高温による不稔の発生程度、受粉・柱頭上における花粉の発芽の様子について日本型水稻9品種で比較した。高温に対する耐性には不稔の発生から見て約3℃の品種間差異が認められた（第5図）。昼温37.5℃（10:00–16:00）の条件下では、稔実率が10粒以上の発芽花粉を持つ穎花の割合にほぼ等しく（図省略）、柱頭上で発芽した花粉粒数が10粒未満の穎花の大部分では柱頭に付着した花粉の粒数は20粒未満であった（図省略）。これらのことから不稔の主な原因は、日本稲においても、受粉の不良による不受精と考えられた。

4. 高温耐性品種と感受性品種における開花時の高温による開葯の阻害の機構

水稻における高温による受粉不良の機構を明らかにする目的で、開花期の高温に対する耐性の強い日本晴と弱いヒノヒカリを対象として、開花時の高温が開葯能力、開葯の原動力である花粉粒の膨張に与える影響を調査した。

葯の裂開能力および、花粉粒の膨張能力は高温に遭遇することにより低下した。高温遭遇期間が1から3日間に増加するに伴い葯の裂開能力は低下したが、花粉粒の膨張能力は、1から3日間の範囲で高温遭遇期間の影響を受けなかった（図省略）。午前7時から開花直前までの時刻を込みにして、人為開穎した場合の開葯率を花粉粒の直径に対してプロットすると、開花当日のみ高温に遭遇した場合には、高温に遭遇しなかった場合と比べて、花粉粒の直径は小さくなったものの、花粉粒の直径と開葯率との関係には大きな変化が認められなかった（第6図）。このことから、最も感受性が強いと考えられる開花日の高温による開葯阻害の直接の原因は主として花粉粒の膨張不良であると考えられた。これに対し、開花前1～2日から開花当日まで高温に遭遇した穎花では花粉粒の直径に対して開葯率が低かった。このことは、開花前日や2日前の高温が花粉粒の膨張以外に葯の割れやすさにも影響を与えることを示していると考えられた。一方、2品種を比較すると、日本晴では花粉粒の直径が48.5μmを超えると急激に裂開率が高まっていたのに対し、ヒノヒカリでは直径48.5から50.5μmの範囲で緩やかに裂開率が高まっていた。また、ヒノヒカリでは葯の裂開率の最大値は80%程度であった。このことから、ヒノヒカリの葯は日本晴の葯に比べて割れにくい、もしくは割れやすさにばらつきがあるのではないかと考えられた。

5. 高温耐性品種と感受性品種の葯の比較

高温耐性品種の日本晴と高温感受性品種のヒノヒカリの葯を比較した。葯の長さには両品種で差がなかったが、日本晴の葯では、裂開腔がよく発達しており（第7図）、葯壁が厚かった。よく発達した裂開腔はセプタムの裂開を容易にすることで、厚い葯壁は葯室内の水分を保持し花粉の膨張を助けることでそれぞれ高温条件下での開葯を容易にしているのかもしれない。

第2表. 二条大麦の穎花に与えられた刺激が葯の裂開に及ぼす影響

処理／位置	穎の先端を		穎に針で小穴を開ける		外穎を貫通して葯・子房を針で刺す	
	切除					
	葯の上		葯の上	葯の横	葯	子房
開葯率 (%)	0		0	0	100	100

第4図. 第2表の実験において二条大麦の穎花に与えられた刺激

第5図. 異なる昼温条件下で開花した日本稲3品種の穎花の稔実率. 昼温は10時から16時まで. 夜温(18-8時)は26°C. 同じアルファベットのついたシンボルは37.5°Cおよび40°Cの昼温条件下でそれぞれ5%および1%レベルで有意差がないことを示す.

第6図. 人為開葯後4分間の花粉の直径の平均値と開葯率との関係. 早朝から開花直前までさまざまな時刻に人為開葯した穎花を込みにした. A: 日本晴, B: ヒノヒカリ. ○: 対照, ●: 高温処理(昼温39°C)1日目, ■: 高温処理2日目, ▲: 高温処理3日目.

第7図. ヒノヒカリ(左)と日本晴(右)の葯の横断切片(開花前日)