

制御環境下における水稻の開花反応について

今木 正^{*}・常慶 一^{**} 芳^{**}・故原 一^{**} 博^{**}

Tadashi IMAKI, Kazuyoshi JYOKEI and late Kazuhiro HARA
Flower Opening under the Controlled Environments in Rice Plants

緒 言

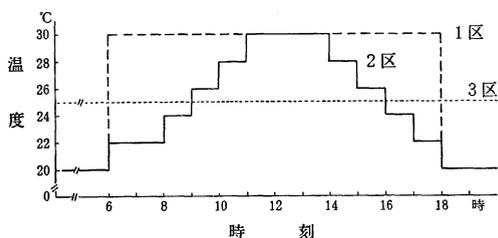
水稻日本晴は異型個体の発生頻度が高く、1973年以来その原因を探るため一連の実験を行ってきたが、日本晴は他の水稻品種に比較して自然交雑しやすい特性を持っていることが認められその結果の一部を公表した^{1,2)}。この一連の実験を行う過程で、実験結果の再現性を高めるため島根大学農学部既設の自然光型温度制御ガラス室や人工照明型温度制御室等の制御環境下で実験を行ってきたが、水稻の開花受精生態が戸外自然条件と異なることを観察してきた。そこでこのような制御環境下での水稻の開花が戸外とどの程度異なるかを明確にしておくことが今までに行ってきた実験結果の妥当性を立証するために必要だと考え本実験を企画した。

材料および方法

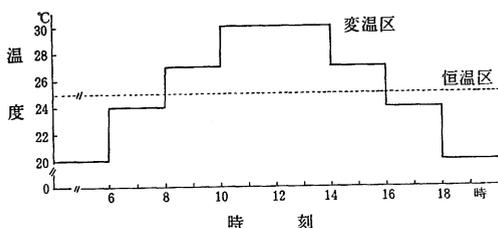
実験1. 水稻品種チドリを供試し、1981年4月11日1/5000アールポットに3葉期の苗を円形に20個体移植し、戸外にて生育させた。肥料は元肥としてポット当たり窒素0.14g、りん酸0.17gおよびカリ0.13gを、追肥として4月27日と7月4日にそれぞれポット当たり窒素0.16g、カリ0.20gを施した。出穂期に自然光型温度制御ガラス室(小糸製作所製の空気調和機を付した下方吹上げ型温度制御ガラス室、以下制御ガラス室と呼ぶ)と人工照明型温度制御室(小糸製作所製KG206HL-D特殊型、以下人工照明室と呼ぶ)において第1図に示す3つの温度処理を行った、すなわち水稻の出穂開花期の気温を考慮して日中(6時から18時)を30°C、夜間(18時から翌日6時)を20°Cとした1区、日中の気温の変化を考慮して22°Cから30°Cまで段階的に室温を上昇下降させた2区、1、2区の日平均気温とほぼ同じ25°C恒温の3区である。なお制御ガラス室は戸外の約70%の相対照度であり、人工照明室の主光源は400Wの陽光ラン

プ6個で30,000lxの明るさが得られ、本実験では12時間照明とした。対照として戸外区も設けたので処理区は合計7区である。

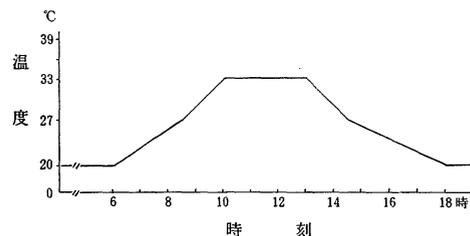
出穂前約4日の7月10日に処理を開始し、7月15日から19日にかけて同じ日に出穂し始めた5穂を対象として開花調査を行った。調査は6時から1時間毎に行い毎時開花中の穎花に印を付けて数を記録した。18時から翌日6時までには調査は行わず、6時の調査時点でこの間に開花した穎花を判定しようとしたが実験期間中にその例は認められなかった。



第1図 実験1の温度設定



第2図 実験2の温度設定



第3図 実験3の温度設定

* 作物学研究室
** 元作物学研究室専攻生

実験2. 水稻品種チドリを用い、1981年4月22日に $\frac{1}{5000}$ アールポットに催芽種子を円形20粒直播し戸外にて生育させた。肥料は元肥としてポット当たり窒素0.70g、りん酸0.85g、カリ0.65g、追肥として7月4日に窒素0.16g、カリ0.20gを施した。出穂開花期に人工照明室で次のような処理を行った。すなわち光条件は連続照明、連続暗黒の2処理とし、温度条件としては第2図に示すように日中（6時～18時）は30°Cまで段階的に室温を上昇下降させ夜間（18時～翌日6時）は20°C恒温とした変温区と25°C恒温区を設け、それぞれの条件を組み合わせて計4処理区とした。

7月19日に処理を開始し、7月20日に出穂した10穂を各区で選び以後26日まで毎日6時から20時まで2時間毎に実験1と同じ方法で開花数調査を行った。20時から翌日6時の間に開花したものは6時の調査時に判断した。7月26日の調査終了時に処理期間中に出穂開花した穎花以外は切除し以後戸外で登熟させた。8月30日に穂を収穫し稔実歩合を調査した。稔実不稔の判定は子房の肥大の有無を透過光下や手で触って行った。

実験3. 水稻品種チドリを用い、1981年5月22日に $\frac{1}{5000}$ アールポットに催芽種子を円形20粒直播し戸外にて生育させた。施肥は実験2に準じて行った。出穂開花期に第3図に示すような温度条件を設定した制御ガラス室と人工照明室にポットを持ち込み（8月5日）、8月7日から14日にかけて開花時間と開花過程の観察を行った。対照区として戸外区も設けた。開花過程の観察には次のような基準を設定して行った；(1)開穎直後で葯が穎内に留まっている状態、(2)開穎し葯が完全に穎外に突出した状態、(3)開穎し始め穎の先端部での内外穎の間隙が2mm以下となった状態、(4)開穎した状態。また葯の裂開の有無とその程度を推測するため葯色の変化についても観察を行い、次の2つの基準を設けた；(A)葯色が新鮮な黄色を失い始めた状態、(B)葯の裂開により花粉の大部分が葯から放出されて葯色が完全に变化した状態。以上の基準にしたがって開花過程を5分毎に観察した。本実験を開始するまでにこれらの基準の判定に慣れるため予備観察を約1週間行い、同一人が終始観察した。したがって1日に調査し得る穎花は4～8個であった。

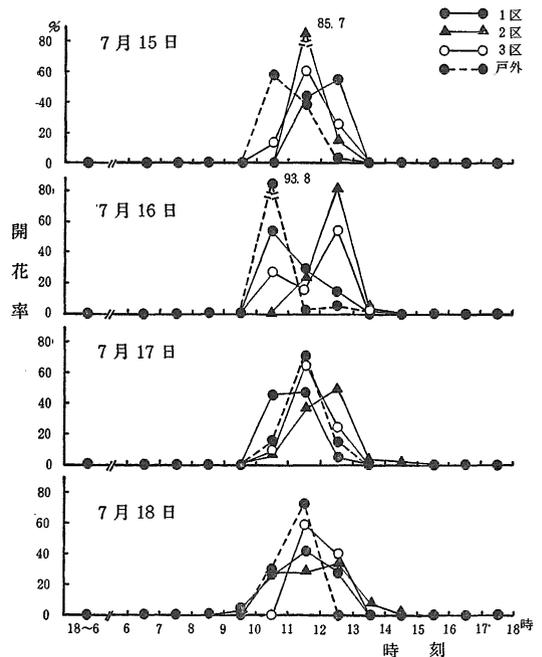
実験4. 圃場に栽培していた出穂前の水稻品種日本晴を1981年8月18日に掘り取り $\frac{1}{5000}$ アールポットに1株ずつ移植し実験に供試した。8月20日に制御ガラス室と人工照明室にポットを持ち込み8月23日から9月2日にかけて開花直後の葯を採取しコットンブルーで染色後、葯内の残存花粉数を調査した。温度条件は両室とも日中（6時～18時）は33°C、夜間（18時～6時）を27°Cに

制御した。

実験結果

実験1. 制御環境下の開花反応：1) 制御ガラス室 調査対象穂の開花始めは3区は7月14日、他の2区は7月15日であった。1時間毎に調査した開花数を各調査日毎の総開花数に対する割合として示したのが第4図である。この図によると15日は戸外では10時頃に開花が集中したが、制御ガラス室では3区共11～12時頃と戸外に比べ1～2時間遅かった。16日も戸外は10時頃が開花盛期であったが、制御ガラス室では1区は戸外とほぼ同じであったのに対し2、3区は12時頃と遅かった。17、18日になると、いずれの区も開花盛期時刻は戸外とほぼ一致した。しかしその時刻は11時頃と以前と比べて遅かった。調査期間中の全ての記録をまとめて第6図上段に示した。制御ガラス室の各区は戸外に比べて開花盛期時刻が遅く、1、2区は約1時間、3区は約2時間遅れた。また全体に開花がばらつくので開花盛期時刻の開花率は3区とも50%前後で時刻の遅い方に偏した咲き方をしていることがわかる。

2) 人工照明室 結果を第5図に示した。開花始めは2区が14日、1区が15日、3区が16日であった。1、2区は調査期間中毎日開花盛期時刻が一定していたが、戸外に比べて開花始めは1時間、開花盛期は1～2時間遅かった。しかしばらつきは戸外と比べてむしろ小さく集中して開花した。3区は戸外に比べ開花盛期が約2時間遅



第4図 制御ガラス室の時刻別開花率（実験1）

く、ばらつきも大きかった。全調査期間中の記録をまとめて示した第6図下段をみると上述の傾向がよく読みとれる。

実験2. 光の有無・温度の日内変化と開花 1) 開花数の推移 第1表に調査期間中の各区10穂の1日当たり開花数を示した(本実験では1日を前日の20時から当日の20時までとした)。連続照明下では変温区、恒温区とも処理開始後3日目の22日に開花が始まり次第に開花数が増え24日には最大値を示し変温区で141個、恒温区で125個となり以後減少した。しかし連続暗黒下では、開花数の推移は不規則で変温区では処理1日後の7月20日に開花したが、21日は開花せず恒温区も含めて開花盛期

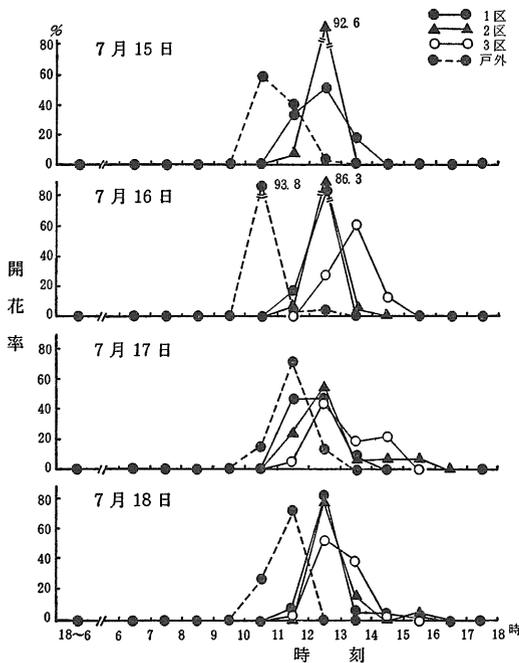
が認められなかった。どの処理区も調査期間中に対象穂の全穎花が開花するには至らなかったが、連続暗黒下では連続照明下の40~80%しか開花しなかった。

2) 時刻別開花率 調査日毎の時刻別開花率を第7、8図に示した。連続照明下についてみると、変温区では22日には14~16時にその日に開花した穎花の38.7%が開花し、1日の開花盛期時刻が認められたが、その後日があつにつれて認められなくなった。しかし6時から20時の開花率は20時から翌日の6時の間に開花するものより多かった。恒温区でも22日は開花数がわずか2ヶであったものゝ、16~18時に2ヶとも開花した。その後は1日当たり開花数が増えたが開花時刻は一定せず24時間を通じて毎2時間に10%前後の穎花が開花しつづけた。調査期間中の全記録をまとめて表示した第9図上段をみると、変温区は開花時刻のばらつきは大きいのが12~16時に盛期

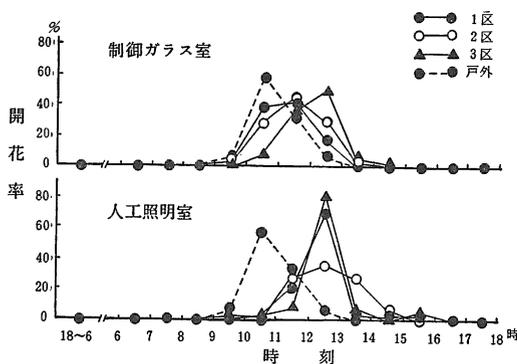
第1表 調査期間中の開花数の推移(実験2)

月/日	7/20	21	22	23	24	25	26	計
照明・変温区	0	0	62	116	141	100	79	498
照明・恒温区	0	0	2	51	125	122	94	394
暗黒・変温区	20	0	50	45	29	64	0	208
暗黒・恒温区	0	0	58	142	2	120	0	322

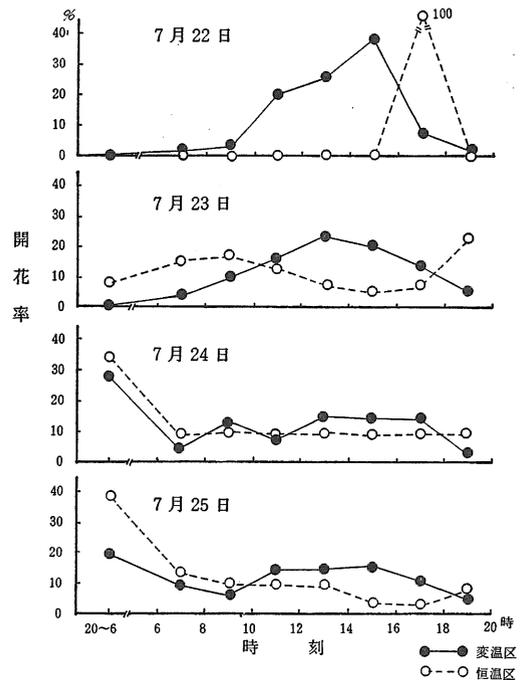
(10穂当たり)



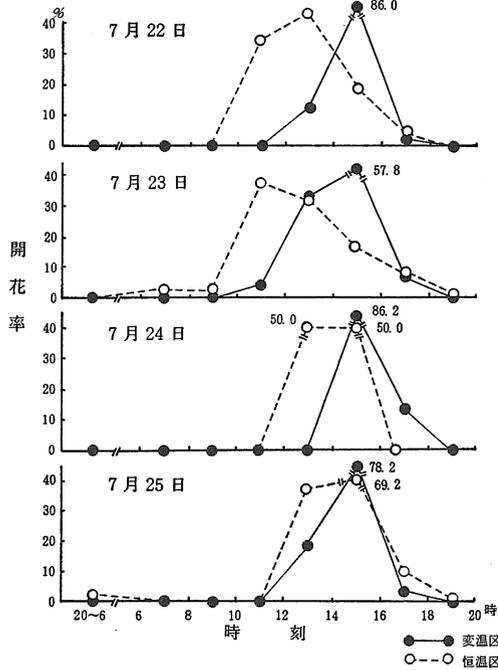
第5図 人工照明室の時刻別開花率(実験1)



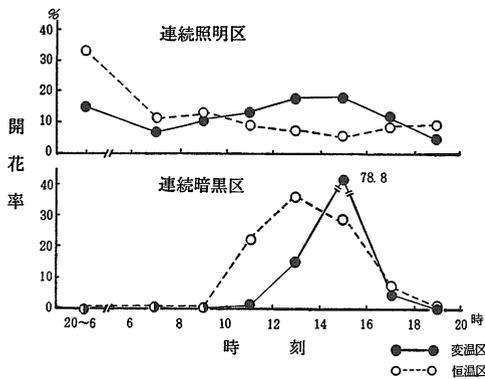
第6図 制御ガラス室と人工照明室の時刻別開花率(実験1:調査全記録をまとめた)



第7図 連続照明下の時刻別開花率(実験2)



第8図 連続暗黒下の時刻別開花率 (実験2)



第9図 連続照明下と連続暗黒下の時刻別開花率 (実験2:調査全記録をまとめた)

が認められ、恒温区は開花の盛期が認められない、一方連続暗黒下についてみると(第8図)、変温区では毎日の開花盛期時刻は14~16時の間であって一定しており、調査期間中の総開花数の78.8%がこの時間に開花した(第9図下段)。恒温区では変温区に比べ開花時刻のばらつきが大きく開花盛期も若干変動したが、第9図下段によると変温区より開花盛期時刻は1時間程度早かった。

3) 稔実歩合 調査した結果を第2表に示す。いずれの処理区も対照の戸外に対して値は低く、有意差が認められた。また暗黒下で開花した穎花の稔実歩合が比較的高い値であるのに対し連続照明下で開花したものの稔実が極めて悪かった。

第2表 連続照明・連続暗黒下で開花した穎花の稔実歩合 (実験2)

調査項目 区	調査 穂数	調査 穎花数	稔実歩合(%) 平均値±標準偏差	有意差 検定
照明・変温区	21	1,257	23.2 ± 6.4	※※
照明・恒温区	14	865	6.8 ± 2.5	※※
暗黒・変温区	12	665	85.5 ± 1.3	※※
暗黒・恒温区	18	973	77.8 ± 2.9	※※
戸 外	18	897	92.2 ± 4.7	—

注:有意差検定は戸外との間で行い、検定に際しては角変換を行った。※※1%水準で有意

第3表 制御ガラス室、人工照明室での開花時間 (実験3)

調査項目 区	調査 穎花数	開花時間(分) 平均値±標準偏差	変動係数 (%)
制御ガラス室	22	83.9 ± 45.8	54.6
人工照明室	21	98.3 ± 60.3	61.3
戸 外	58	62.1 ± 20.4	32.9

第4表 制御ガラス室と戸外の開花過程の比較 (実験3)

調査基準 区	開 花 過 程				薬の色変過程		
	1	2	3	4※	A	B※	
制御ガラス室	平均値	8.8	15.0	40.0	82.8	14.0	25.0
	標準偏差	± 4.8	± 6.5	± 12.6	± 51.3	± 2.2	± 7.6
戸 外	平均値	5.0	7.0	38.0	45.5	6.0	9.0
	標準偏差	± 0.0	± 2.6	± 12.3	± 13.5	± 2.2	± 5.2

※ 実験方法参照

(分)

実験3. 制御環境下の開花過程 開穎から閉穎までの時間のみを観察した結果を第3表に、開穎から閉穎までの経過を4つの基準に従って観察した結果を第4表にそれぞれ示した。開穎から閉穎までの開花時間は戸外が一番短く、次いで制御ガラス室で、人工照明室が一番長くなっている、さらに制御ガラス室、人工照明室の値はばらつきが極めて大きくなっていった。第4表から開花過程でどの過程に区間差があるかをみると、穎の先端部で内外穎の間隙が2mmまで閉じてから以後の過程での差が大きいようである。また葯の変色していく過程も戸外に比べて制御ガラス室はかなり遅いことがわかる。

第5表 制御ガラス室および人工照明室で開花した穎花の開花直後の葯内残存花粉数(実験4)

調査項目 区	調査 葯内残存花粉数		変動係数 (%)
	調査 葯数	平均値±標準偏差	
制御ガラス室	14	190.6 ± 115.0	60.3
人工照明室	41	366.9 ± 219.9	59.9
戸 外	17	60.4 ± 35.1	58.1

実験4. 制御環境下での葯の裂開程度 開花直後の葯内残存花粉数から葯の裂開程度を推測しようとした。観察結果を第5表に示した。戸外に比べて制御ガラス室、人工照明室の葯内残存花粉数が明らかに多かった。とくに人工照明室は他の区に比べ値が著しく大きく、葯の裂開が不十分なことを示している。これは実験3の第4表からも予測されるが、人工照明室では閉花するまで葯が黄色を失わないという例を観察していることと対応した。

考 察

開花調査期間中の戸外の気温は晴天に恵まれて日最高気温が約31°C、日最低気温約21°Cであり制御環境下の1, 2区とほぼ同じ温度変化があった。そこで制御環境下の1, 2区における開花反応をまとめると、制御ガラス室では開花盛期時刻が戸外より1時間程度遅れる場合が多く、かつ開花時刻のばらつきがやゝ大きかった(第4, 6図)。人工照明室では、戸外や制御ガラス室に比べて調査日による開花時刻のばらつきが少なく再現性があるが、開花盛期時刻が制御ガラス室に比べてさらに遅くなる場合が多かった(第5, 6図)。次に日平均気温では同じ1, 2, 3区を比べてみると、温度を日内変化させた1, 2区の方が終日室温が25°Cと低い3区に比べ早く開花した。温度を日内変化させた区でも、朝の6時から30°Cに室温を上昇させた1区は、6時から徐々に室温を上昇させた2区よりも開花は早かった。また相

対的に室温の低い3区は開花がばらついた。このことは程度の差はあるが制御ガラス室、人工照明室ともに言うことであった(第4～6図)。

以上の結果は、従来から指摘されているように光や温度が開花反応に影響を及ぼしていること、なかでも温度の影響が強いことを示している。したがって制御環境下でも室温を日内変化させ30°C程度まで上昇させれば、盛夏の晴天時の自然条件下と同じ開花反応を再現性よく観察することができよう。たゞし晴天時の戸外に比べると開花盛期が遅れることを留意しておくべきである。このように戸外とほぼ同じ温度変化を与えた制御環境下で開花盛期が戸外より遅れるという現象は NISHIYAMA⁵⁾らの観測値にも認められていて、制御ガラス室の相対照度や人工照明室の明るさを考えると開花に対する光の関与を否定しえない。

光の有無や日周期と開花反応を検討するために行った実験2において連続暗黒下で開花することが観察された(第8, 9図)。このことから光が水稻の開花の絶対条件ではないことがわかる。また連続照明下の恒温区では開花盛期が認められず、変温させると開花盛期時刻が認められた。さらに連続暗黒下では連続照明下よりも開花盛期が明確に認められた。このことは開花に対する温度の関与の程度を明示したものと言えよう(第7～9図)、戸外⁶⁾の行った実験結果からも上記のような現象を読み取ることができるが、彼等は開花に対する光の影響を温度よりも重視した結論を導いており疑問を感じる。たゞし暗黒下で開花した穎花が少なかったことは(第1表)、開花そのものに対しては光は絶対条件ではないが、開花直前に至るまでの過程には光が必要であることを示していると考えられる。

暗黒恒温下で開花盛期時刻が観察されたが、これは日周期に対する反応が日周期を取り除いた後もしばらくは、本実験では少なくとも⁵⁾6日間；続くことを示しており、NISHIYAMA⁵⁾らの結果と一致した。開花には光よりも温度が重要な環境要因であるという立場に立って、連続照明下で開花がだらだらと一日中続く原因を次のように考えた。すなわち、供試個体は何日も続いて陽光ランプ直下(本実験では植物体の先端部まで約50cm)に置かれているため植物体温が室温より上昇していたこと、とくに相対湿度が約80%と日中としては高く、NISHIYAMA⁷⁾の指摘しているように穎花の中の温度も室温より上昇しやすい条件となっていて開花に足る条件がいつでも用意されていたのではなかろうか。

人工照明室で行った実験で、処理温度自体は問題とならなくても、光源ランプの放射熱により植物体温が上昇

したことが原因と想定される水稻の不稔現象を草薙ら⁸⁾が報告している。実験2において連続照明下で開花した穎花の稔実歩合が極めて低い値しか示していないが、草薙⁸⁾らの結果と一致する(第2表)。たゞ NISHIYAMA⁵⁾らは、暗黒下では開花しても葯の裂開が起こらず不稔となることを報告しており、人工照明下での不稔現象についてはふれておらず本実験の結果と一致していない。

最後に開穎から閉穎に至る開花過程について観察した結果を検討する。実験3, 4は極めて予備的な実験ではあるが、温度条件がほぼ同じであっても戸外に比べて制御ガラス室、人工照明室の開花時間は長く、人工照明室ではとくに著るしかった。さらに観測値のばらつきも目立った(第3, 4表)。この原因は本実験では明らかにし得ないが、水稻の開穎・閉穎には鱗被の水分が関与しているとされており、制御室内の湿度や植物体温の上昇により水分代謝に乱れが生じた結果かもしれない。人工照明室の連続照明区で稔実が不良であったのは、長時間開花していたことも一因であろうか。開花過程の中でも重要な葯の裂開については間接的な結果ではあったが、戸外自然条件下と比べて、制御ガラス室や人工照明室では葯の裂開が遅れかつ不十分なことが推察される。とくに人工照明室でこの傾向が強かった(第4, 5表)。これは湿度、風の強さや方向等が影響している可能性はあるが今後の課題として残された。連続照明下の稔実を低下させたのも葯の裂開が関与しているかもしれない。たゞし観測値の値は変動係数にして60%前後といずれの区もばらつきが大きく、人工照明室で開花しても戸外と変わらない開花過程をとる穎花も多いし、葯も裂開はしているので、制御環境下での登熟が戸外よりも常に劣るといふことにはならない。

以上の結果は、制御環境下で水稻の開花現象に関する実験を行うときの留意点を明示し、同時に開花反応を支配している環境条件を考察する上に重要な示唆を与えたことになろう。また日本晴の自然交雑に関する実験を企画する上では、特徴のある開花反応を誘起する制御環境条件が開花受精面での品種間差を助長する可能性も考えられるので、戸外自然条件と対比しながら実験を進めれば効果があろう。

摘 要

島根大学農学部既設の自然光型温度制御ガラス室(制御ガラス室)と人工照明型温度制御室(人工照明室)を利用して、制御環境条件下と戸外自然条件下の水稻の開花反応を比較した。

1. 制御環境条件下では、開花盛期時刻が晴天時の戸外

自然条件下よりも遅かった。その遅延程度は制御ガラス室では約1時間、人工照明室では1~2時間であった(第4~6図)。

2. 連続照明下では開花反応が乱されて開花盛期時刻が認められず、1日中ただらと咲き続けた(第7~9図)。連続暗黒下では、処理前の日周期性が保たれて開花盛期時刻が認められた(第8, 9図)。
3. 開花反応の日周期性は、温度の日変化で支配される面が強かった(第4~9図)。
4. 開花時間は、制御環境条件下で長くなった。戸外自然条件下で約60分であったのに対し制御ガラス室や、人工照明室では約80~90分を要した(第3, 4表)。
5. 人工照明室では、葯の裂開が不完全な穎花や不稔となる穎花も観察された(第2, 5表)。

引用文献

1. 今木 正・中野淳一・山田一郎・安達一明:作物学会中国支部研究集録 22: 3-4, 1980.
2. 今木 正・安達一明:島大農研報 15: 1-6, 1981.
3. NAGAI, I.: Japonica Rice. Yokendo, Tokyo. p. 423-456, 1959.
4. 星川清親:食用作物. 養賢堂. 東京. P. 66-68, 1980.
5. NISHIYAMA, I. and L. BLANCO: Japan Jour. Crop Sci. 50(1): 59-66, 1981.
6. 戸苅義次・坪木良雄・藤井秀昭:日作紀40(別1): 165-166, 1971.
7. NISHIYAMA, I.: Japan Jour. Crop Sci. 50(1): 54-58, 1981.
8. 草薙得一・鷲尾 養:中国農試報 A23: 53-89, 1973.

Summary

A series of experiments were conducted to investigate the difference of flower opening in rice plants between under the controlled environments (the natural-light growth room and the artificial-light growth cabinet) and in the outdoors on a clear day.

1. The peak time of flower opening was delayed mostly one hour in the natural-light growth room and one or two hours in the artificial-light growth cabinet, compared with the peak time in the outdoors on a clear day (Fig. 4, 5 and 6).

2. Rice plants which had been kept under light condition through day and night came to flower continuously throughout the day (Fig. 7 and 9). The circadian rhythm of flower opening was maintained for at least six days after the continuous dark treatment was started (Fig. 8 and 9).

3. The flower opening time was regulated by the circadian rhythm which was mainly caused by diurnal changes of temperatures (Fig. 4 to 9).

4. Flowers usually remained open about 60 minutes in the outdoors on a clear day, but 80 to 90 minutes under the controlled environments (Table 3 and 4).

5. In the artificial-light growth cabinet, some anthers did not seem to dehisce, and some spikelets were sterile (Table 2 and 5).