

論文

植物体の熱測定

馬越 淳

(受取日：2001年10月23日，受理日：2002年3月12日)

Thermal Analysis of Plant

Jun Magoshi

(Received October 23, 2001; Accepted March 12, 2002)

Seed plants, such as rice, wheat, soybean, and corn, are very important as food sources for people around the world. Thus, as the world's population increases, it is necessary that food quality and production are developed. Selective breeding of plants requires seed preservation at low temperature.

Changes in the freezing and non-freezing water of unpolished rice grains at each growth stage after flowering were measured by differential scanning calorimetry (DSC). The weight of water in unpolished rice grains rapidly increased until 10 days after flowering. Twenty days after flowering, the weight of water decreased. The length of unpolished rice grains remained unchanged after 10 days. The content of non-freezing water peaked at the 10th day. The content in non-freezing water was constant after 20 days. The glass transition temperature was constant at about -100 up to 40 days after flowering. The glass transition temperature was abruptly increased after the 40th days, when the freezing (unbound) water in the rice grains was no longer observed in the unpolished rice. The glass transition temperature of the unpolished rice is dependent on the moisture content of the grains.

1. はじめに

イネやコムギの種子などは食料として非常に重要であり，多量の生産と品質の向上のためには植物の品種の改良が必要である。最近，バイオテクノロジーの発達にともない，耐寒性，耐病性，耐塩性，多収穫の植物育成が盛んになってきた。植物の花粉，組織，器官などの遺伝資源は新品種の開発のために重要な素材である。多くの植物資源は乾燥，低温の条件下で保存されてきたが，貯蔵時間が長くなると活性が低下し，遺伝子にも変化が起こる。これを防ぐには，長期間に渡り，安定に遺伝資源を保存する技術を考える必要がある。

植物育成には器官別植物体の細胞を長期間，超低温（ガ

ラスの状態）の下で保存する必要がある。しかも遺伝子の損傷や変異を防止する技術が要望されている。遺伝資源を効果的に安定に長期保存する技術を確立するには，植物体の低温領域の熱測定が不可欠である。¹⁾

そこで，植物の遺伝資源の超低温保存法の確立のために，熱分析による昇温過程における熱量の変化から植物（イネ種子）のガラス転移温度を検討した。さらに，登熟までのイネ種子に含まれる水の融解する温度を求め，植物体内の水の変化を求めた。また，完熟した玄米を30 の水に浸漬させ，発芽時の水分率とガラス転移温度の変化を検討した。

2. 実験

実験材料は日本晴（イネの品種）をもちい，イネの開花

植物体の熱測定

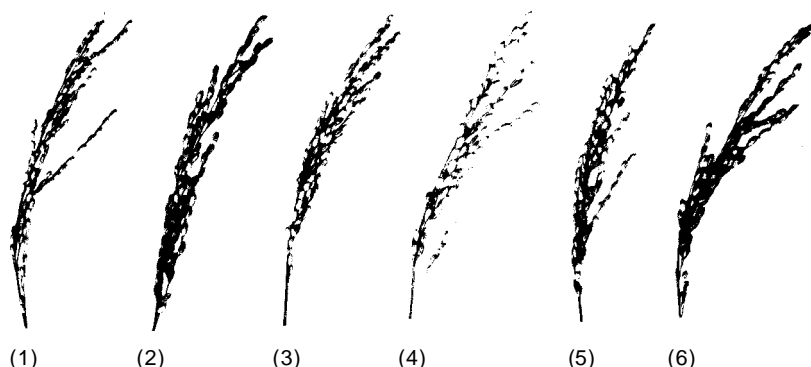


Fig.1 Photograph of rice grains at each growth stages after flowering, (1) on 15th day, (2) 20th day, (3) 22nd day, (4) 24th day, (5)30th day, (6) 40th day.

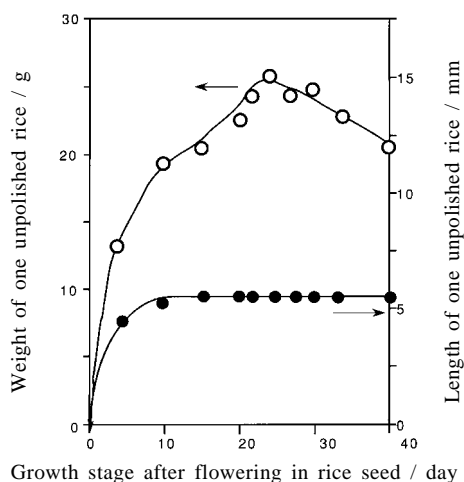


Fig.2 Changes in the weight and length of rice grains at each growth stage after flowering.

後から登熟するまでの各成長段階 (Fig.1) の種子を用いて、イネの種子の登熟過程における熱測定を行なった。各成長段階のイネの種子の試料は種子の籾を除き玄米にし、熱測定を行った。また、登熟したイネ種子 (日本晴) を用い、もみ殻を除き、30 の水中に浸漬させ、発芽途中の熱測定を行った。²⁾

イネ種子の熱測定はSSC5000 熱分析システムの熱分析モジュールDSC100の示差走査型熱量計で測定した。測定条件は -150 ~ 100まで昇温速度 5 min⁻¹で行った。アルミセルと銀セルの70 μlを用い、イネ玄米1個を入れて、密封系で行った。

玄米の水分量は減圧乾燥機を用い、105 で2時間乾燥して求めた。また玄米の自由水と不凍水の算出方法は0 に

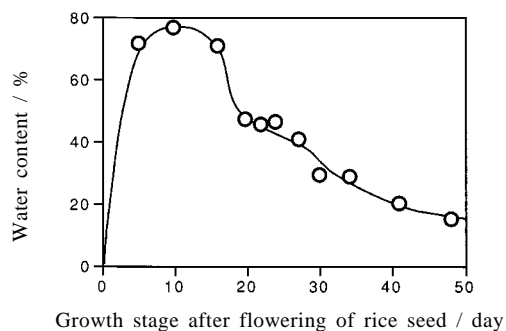


Fig.3 Changes in the water content of one unpolished rice grain at each growth stage after flowering.

おける水の融解の熱量から算出した。³⁾

3. 実験結果

3.1 イネの種子の登熟期における成長

イネの受精した雌穂、子房が発達してイネ種子となる。イネの開花後から登熟過程におけるイネの穂の写真をFig.1に示す。イネの開花後の1粒の玄米の重量と長さの関係をFig.2に示す。玄米の長さの変化は、子房が受精した翌日から外形的発達を始め、まず縦に成長し、10日目からは一定になる。玄米の重量は10日目まで急激に増加する。25日目まで増加し、25日目を過ぎると重量は減少する。15~16日目までイネ種子の玄米の腹部が肥大化するために玄米重量は増加する。20~25日目籾殻内に玄米は充満し、玄米重量は最大となる。25日目を過ぎると玄米の水分が減少し、重量は減少する。

3.2 登熟期における水分の変化

イネ種子の成長過程における玄米の水分率の変化はFig.3に示すように、開花後5日目まで水分率の急激な上昇が観

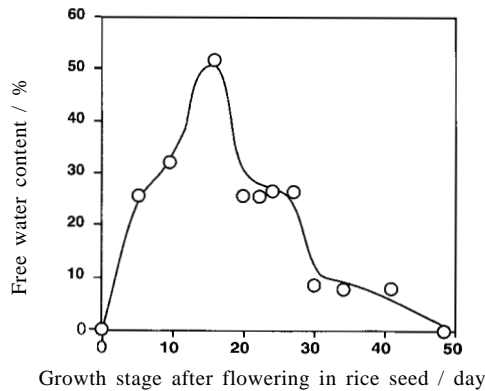


Fig. 4 Changes in the content of freezing water (bound) of one unpolished rice grain at each growth stage after flowering.

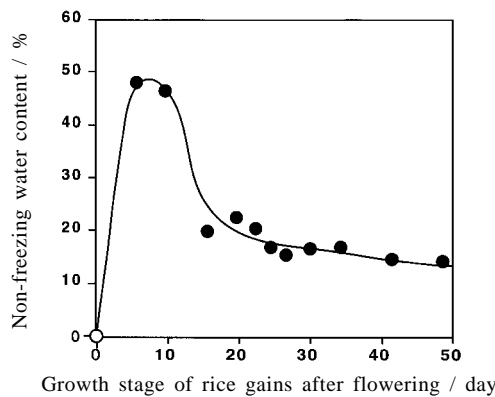


Fig. 5 Changes in the content of non-freezing (unbound) water of one unpolished rice grain at each growth stage after flowering.

察される。その後、10日目まで増加し、10日目で最大となる。その時、玄米に含まれる水分量は75%である。その後、15日目を過ぎると急激に減少する。20日目頃から25日目までの籾殻に玄米が充満するまで、水分率は一定である。25日目を過ぎると水分率は減少し、30日目から徐々に水は種子から蒸発する。

3.3 登熟期における自由水の変化

イネ種子の成長過程における玄米の自由水の変化をFig. 4に示す。玄米の中の自由水はDSC曲線の0に現れる水の融解量から求めた。開花後5日目まで自由水は急激に増加し、10日目からまた急激に増加する。15日目で自由水は最大に達し、その後、急激に減少する。20日目から27日目まで一定となり、27日目から急激に減少し、その後40日目まで一定の値で、40日目からまた減少する。48日目になると玄米

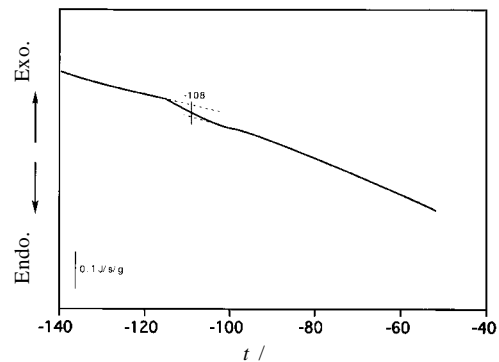


Fig. 6 DSC curve of unpolished rice grain on 20th day after flowering.

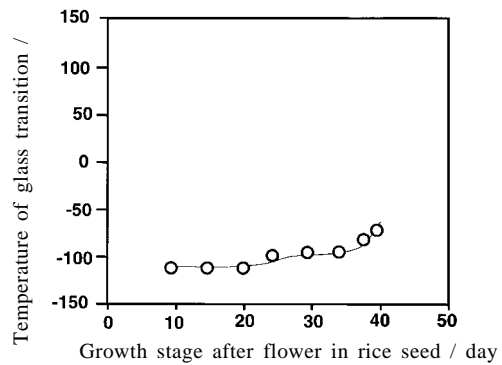


Fig. 7 Glass transition temperature of unpolished rice grain at each growth stages after flowering.

の中の自由水はなくなる。15日目以後はもみの中にデンプンが蓄積され、それに置き換わって水が無くなってくる。

3.4 登熟期における不凍水

イネ種子の成長過程における玄米の不凍水の変化をFig. 5に示す。不凍水は玄米の水分量と自由水の差から求めた。開花後5日目まで、不凍水は急激に増加し、10日目を過ぎると急激に減少した。20日目からはほぼ一定値を示した。

3.5 登熟期におけるガラス転移温度の変化

イネ種子の成長過程における玄米の開花後20日目のDSC曲線をFig. 6に示す。図から分かるように -108 に吸熱シフトが観察される。また熱膨張から -110 付近に膨張率の変化が現れることから、この吸熱シフトは玄米のガラス転移温度である。玄米には約45%の水分が含まれることから、玄米に含まれる水のガラス転移と考えられる。

玄米の成長段階におけるガラス転移温度の変化をFig. 7に示す。開花後20日目までは -108 にガラス転移温度があり、25から37日目までは -92 と一定である。しかし40日目を過ぎると急激にガラス転移温度は上昇する。これ

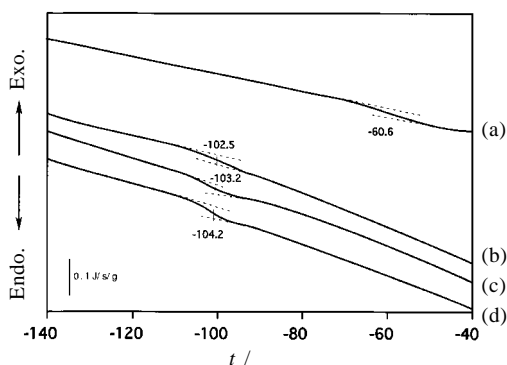


Fig.8 DSC curves of unpolished germinated rice grains, (a) one day after immersion in water, (b) 2 days, (c) 3 days, and (d) 5 days.

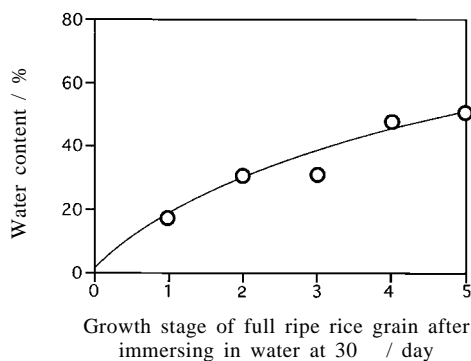


Fig.9 Changes in the water content of unpolished rice grains at each growth stage after immersing in water at 30°C.

は玄米の中の自由水が無くなったためである。

3.6 発芽におけるガラス転移温度の変化

登熟後、乾燥し、成熟した玄米を30°Cの水中に浸漬させ、放置するとイネ種子は発芽する。イネ玄米の発芽過程におけるDSC曲線をFig.8に示す。また、発芽過程における水分量の変化をFig.9に示す。成熟した玄米の高温度に合ったガラス転移温度は水の影響で低温側へ移動した。浸漬後1日目では水分率は19%と玄米の中の水は増加し、ガラス転移温度は-60.6°Cに低下した。浸漬2日目後、水分率は32%とさらに増加し、ガラス転移温度は-102.5°Cと非常に低い温度側に現れた。浸漬5日目では、玄米の水分率は52%と増加し、ガラス転移温度は-104.2°Cと緩やかに低下した。これらの結果から、イネ種子に水が入ることにより、常温以上にあったガラス転移温度が低下し、玄米の中の生体分子が運動しやすくなり、発芽に関係した生体分子が運動し、葉や根が伸長すると考えられる。

4. 考察

イネ種子の成長段階における玄米の成長は、最初にもみ殻が成長し、一定の大きさに達すると、玄米もそれにつれて大きくなる。そのときに自由水の量が増加するとともに玄米のデンプン量⁴⁾が増加する。もみ殻内に自由水とデンプン量が充満すると、自由水の量が減少するとともに、不凍水の量も減少する。開花後40日目を過ぎると自由水は無くなり、不凍水のみになる。

また、イネ種子の成長段階における玄米のガラス転移温度は38日目までは非常に低温度にある。これは自由水が玄米の中にあるため、自由水が無くなると急激に上昇する。さらに、成熟した玄米のガラス転移温度は高温にあるが、30°Cの水に浸漬するとすぐに、ガラス転移温度は低温側へ移動する。

植物の器官別に長期保存を確立するためには、器官別植物体の中の水の凍結温度、ガラス転移温度を知らなければならない。そこで、植物の熱分析を行うことが重要となる。すなわち、植物体を長期的に安定に保存するには生体内の分子運動を最小限にし、分子運動を凍結する必要があるため、植物体のガラス転移温度を知ることが非常に大切である。植物体の超低温の保存温度を決めるためにはDSCとTMA測定が一番よいと思われる。

文 献

- 1) M. Murata, Colorado state university, Ph.D. 185 (1979); 牧野徳彦, 成果シリーズ (農林水産技術会議事務局) 270, 51 (1992).
- 2) 片山忠夫, 稲学大成, 生理編, 松尾孝嶺編集, 農山魚村文化教会, 7 (1990).
- 3) K. Nakamura, T. Hatakeyama, and H. Hatakeyama, *polymer* 248, 71 (1983).
- 4) 星川清親, 解説図説・イネの成長, 農山魚村文化教会, 263 (1975).

馬越 淳 Jun Magoshi
 農業生物資源研究所および戦略的基礎研究推進事業, Dept. of Biopolymer, National Institute of Agrobiological Sciences, and Core Research for Evolutional Science and Technology, TEL. 0298-38-7463, FAX. 0298-38-7463, e-mail: jmagoshi@nias.affrc.go.jp
 研究テーマ: エネルギーミニマム型高分子構造形成, 植物体の熱分析, 生分解性プラスチック
 趣味: テニス, つり, 囲碁