作物の登熟機構に関する研究

登熟期の炭水化物及びそれに関与せる数種酵素活性に及ぼす気温の影響*

相見 霊三・沢村 浩・昆野 昭晨

(農林省農業技術研究所)

最近、早期栽培或は二期作等栽培法の進展に伴つて盛夏の高温期や秋の低温期に水稻の登熟期が遭遇する様になった。従つて気温が登熟に如何なる影響を及ぼすかを明らかにすることは、これら栽培法を確立する上に極めて重要なことであると考えられる。

材料及び方法

鉢栽培した水稻農林 29 号を、出穂開花後 17°C, 21°C, 25°C (昼夜恒温) の硝子室内で登熟させ、水稻体内の各部位 (上から第一・第三・第五節間及び穂) に於ける炭水化物及びその代謝に関する酵素中で重要な位置を占めるとされるアミラーゼ、フォスホリラーゼ、インペルターゼ、ヘキソキナーゼの分布及び消長を測定した。

炭水化物の分別抽出は村山ら⁹⁾の法、還元力の測定は SOMOGYI 法によつた。酵素液の調整は、一定の生体重に対し 4 倍量の水と少量の石英砂を加え乳鉢で磨砕し、ガーゼで濾過して 3000 r.p.m. で 2 分間遠心分離し、上澄液を粗酵素液として用いた。

アミラーゼ、インペルターゼの活性は石塚ら⁴⁾に従い、粗酵素液に当量の磷酸緩衝液を加えたもの 2 ml に 1% 可溶性澱粉液 4 ml, 又は 1% 蔗糖液 4 ml をそれぞれ加え、トルオール 1 滴を加えて 37°C, 18 時間 incubate し、SOMOGYI 法で還元力の増加を測定した。盲検として澱粉・蔗糖液の代りに蒸留水を用いて測定し、盲検との差を相対的活性度として表わした。

ヘキソキナーゼ活性は、0.2 M MgCl₂ 0.1 ml; 0.01 M glucose 0.5 ml; D. W. 0.3 ml; 粗酵素液に 1/2 量のトリス・マレイト緩衝液を加えたもの 1.5 ml; 1 M NaF 0.1 ml; 及び 0.02 M ATP 0.5 ml を加え、37°C, 1 時間反応させた後、還元力を SOMOGYI-NELSON 法¹⁰⁾によつて比色測定し、ATP を入れぬものの差から相対的活性度を求めた。

フォスホリラーゼの活性は中村法⁹⁾に従い、前記の粗酵素液に緩衝液を加えたもの 1.5 ml, 5% 可溶性澱粉液 0.5 ml, 0.2 M NaF 0.35 ml, D. W. 0.15 ml の混合液に 0.1 M G-1-P 1 ml を加えて 37°C, 2 時間反応させ、遊離する無機リンを比色定量し、その値を相対的活性度として表わした。

酵素活性の表示には単位生体重当りだけでなく、単位蛋白量当りからも表示しようと考え、粗酵素液の蛋白態窒素を定量した。即ち、粗酵素液に等量の 20% TCA を加えて蛋白質を沈澱させ、この沈澱物をマイクロエルダール法により定量した。

* 昭和 33 年 10 月 19 日 第 120 回講演会に於て発表

Fig. 1. Changes of relative activity of amylase, invertase, hexokinase and phosphorylase per fresh weight in ear and culm at controlled temperatures of 17°C, 21°C, 25°C during the ripening process.

結果及び考察

登熟の進行状態は、21°C 区が戸外に於ける普通の状態と似た経過をたどつた様であつたが、25°C 区では穎果の黄化が早く始まり穂軸及び茎葉の黄化が遅れる様であつたが、17°C 区は穂、茎葉とも遅くまで緑色を保つていた。

1. 登熟の進行に伴う酵素活性の変化 (第 1, 2 図)

低温下におかれた稲では、重要な酵素の活性が低下している為に登熟不良になるのではないかと考えて、数種酵素の活性を測定したが、結果は予想に反し、測定した 4 種の酵素についてはいずれも低温下におかれたものの方が、各部位で高い活性を遅くまで維持していた。但し、穂に於けるアミラーゼ活性のみは逆に低温下のものの方が低かつた。然し単位蛋白あたりの活性を比較すると (稈では蛋白量に大きな変化がなかつたので、穂についてのみ第 2 図に示す)、インペルタ

Fig. 2. Relative activity of enzymes per unit protein-N in the ear. (Comparison of different enzyme activity is not possible as different methods were used.)

一ゼ以外では、温度によつて大きな変化はみられなかったが、低温下のものの方が特に弱いということとはなかった。

然し、一般に多くの酵素活性は $30^{\circ}\text{C} \sim 40^{\circ}\text{C}$ の間で最高になり、低温になるにつれて低下する傾向がある。従つて低温下では澱粉の集積能力が低下し、登熟不良の原因の一となることは考えられることである。

2. 穂の乾物重・炭水化物含量の消長 (第3, 4図)

実験終了時 (17°C 区は処理後 75 日目, 他は 65 日目) の穂重は 21°C 区が最大で, 25° , 17°C 区が略同じであつた。この様に最後の穂重は同じでも高温区と低温区とはその経過は異なり, 25°C 区では登熟初期に乾物の急速な増加があつて初期には 21°C 区を上廻っているが, 開花後 25 日目位で増加が停止するので 21°C 区に追越されるのに対し, 17°C 区では増加速度が遅く, 何時までも緩慢に増加して, 開花後 75 日目になつても上昇を続けた。澱粉含量も同じ傾向であつた。即ち, この温度の範囲では, 登熟の適温は 21°C , 転流の適温は 25°C であつた。これは松島^{6,7)}の報告と一致し, 山本¹³⁾・塘¹¹⁾の「高温は熟期を早める」という報告や近藤⁵⁾の「低温は登熟速度を遅らせるのみである」という報告と一致する。

種実内に蓄積される澱粉量は, その蓄積速度と蓄積期間の積であると思われる。高温下では澱粉の蓄積速度は急速であるがその蓄積期間が短く, 低温下では逆に蓄積速度は遅いが蓄積期間が長びく。高温による登熟障害の原因について山本¹⁴⁾は呼吸による消耗をあげているが, 同時に「低温下で呼吸の旺盛な品種は冷害年にも登熟期間の延長が少く, 低温で呼吸量の減少する品種は登熟日数が長くなつた」と述べている如く, 呼吸即ち消耗であると簡単にいい切ることは出来ないであろう。高温下では呼吸作用が旺盛になるに伴つて細胞の代謝活動も盛になり, 炭水化物の分解, 移行, 合成が急速に行われ登熟は促進される。然し, その反

Fig. 3. Changes in dry weight of ear and culm.

Fig. 4. Changes of starch and soluble sugar content.

面, 細胞の老化を早め穂 (穎果) の“受入れ能力”の持続期間が短くなる為に, 炭水化物の蓄積が不十分となることも高温による登熟不良の原因の一として考えねばならないであろう。

3. 稈と穂の炭水化物含量の関係 (第5図)

21°C , 25°C 区の下位節間では, 登熟の進行に伴つて乾物重, 澱粉, 糖含量が減少したが, 17°C 区では変化なく開花直後の状態を維持していた。上位節間では大きな変化はなかつた。登熟期の水稻の茎葉の呼吸量は低下しているから¹²⁾, 高温下で稈中の炭水化物が消失するのは呼吸による消耗と考えるより穂へ移行したと考える方が至当であろう。低温が転流を抑制するという報告^{1,2,3)}は多数あるが, 我々の実験でも, 17°C 区の稈中の炭水化物に変化がないのは, 穂への転流が低温で抑制された結果と思われ, 低温による登熟不良の原因として, 前述の酵素活性の低下の他に, 転流の抑制が考えられる。もし穂のフォスホリラーゼ活性の低下が制限因子となつていいるなら, 17°C 区の穂の糖含量は登熟が進むにつれて増加する筈であるが, 事実は逆に減少している点からみて, 低温による登熟不良は, 稈から穂への炭水化物の転流の抑制が主な原因であると思われる。

Fig. 5. Comparative amounts of carbohydrates in culm and ear. (Starch content of ear expressed as 1/10 of actual amount).

文 献

- 1) BORTHWICK, H. A. *et al.*: Bot. Gaz., **102**, (1941). 2) CURTIS, O. F. and HERTY, S. D.: A. J. Bot., **23**, (1936). 3) HEWITT, S. P. and CURTIS, O. F.: A. J. Bot., **35**, (1948). 4) 石塚・田中: 土肥雑 **25** (4), (1954). 5) 近藤他: 日作紀 **16** (3/4), (1948). 6) 松島・真中・角田: 日作紀 **25** (4), (1957). 7) 松島・和田: 日作紀 **27** (1), (1958). 8) 村山他: 農研報告 B 4, (1955). 9) 中村他: 日農化 **24**, (1951). 10) SOMOGYI, M.: J. Biol. Chem. **195**, (1952). 11) 塘: 九州農研 **9**, (1952). 12) 山田・村田: 日作紀 **21** (3/4), (1953). 13) 山本: 東北大農研彙報 **4** (3), (1953). 14) 山本: 農及園 **29** (11), (1954).

Physiological Studies on the Mechanism of Crop Plants

The effect of the temperature upon the behaviour of carbohydrates and some related enzymes during the ripening of rice plant.

Reizo AIMI, Hiroshi SAWAMURA and Shoshin KONNO.

(National Institute of Agricultural Sciences)

Summary

Rice plants, the variety Norin No. 29, were ripened after flowering in glassrooms, controlled at constant temperatures of 17°C, 21°C and 25°C respectively, and the behaviour of carbohydrates and its related enzyme activities were studied.

Samples were taken at intervals of 4 days from flowering. Each of these samples was divided into the ear and the 1st, the 3rd and the 5th internodes respectively from the panicle downwards. The distribution and rise or fall in the contents of sugar, starch, and some enzymes (amylase, phosphorylase, invertase, and hexokinase) which were related to the metabolism of carbohydrate, respectively were determined.

The activity of those four enzymes in respect of each part of the plant, which ripened at the low temperature, was not so much low. On the 65th day after flowering, the dry weight and the starch content of the ear were respectively highest at 21°C and were almost equal between 25°C and 17°C. But the process of ripening at 25°C and that at 17°C were quite different from each other. At 25°C, the dry weight and the starch content of the ear increased rapidly and then ceased accumulating at an early stage of ripening. On the contrary, at 17°C it increased slowly but steadily and it continued until the 75th day after flowering.

Sugar and starch in the culm were translocated to the ear at an early stage in the treatments of 21°C and 25°C, but not in that of 17°C.

The following conclusions were drawn from the above mentioned results.

The impediment in ripening at high temperatures is mainly due to the cessation of ability of the ear as a "receiving organ" at an early stage, and at low temperatures it is mainly due to the disturbance in supply of materials to the ear from the culm.