稲の組織内澱粉に関する研究

第7報 組織内澱粉に関し稲と他の禾穀類との比較*

佐 藤 庚

(東北大学農学部)

第2表 禾穀類休眠種子の胚各部における澱粉蓄積

緒 言		第2表 禾穀類休眠種子の胚各部における澱粉蓄積								
		作 物	鞘葉	生長点 近 傍	胚軸	幼根	根冠	根鞘	胚盤	
禾穀類の生育中の化学分析は数多く行なわれているが、組織内澱粉を生育と関連させて直接に観察対象とした報告は見当らない。化学分析の結果からみてイネ以外の禾穀類茎葉には澱粉の蓄積は少ないようである。そこで各種の禾穀類について茎葉組織の澱粉分布を観察した結果、イネは特に多量の澱粉を含有する特徴をもつことを知つたのでその大要を報告する。		オ オ ム ギ	—	—	—	—	—	—	—	
		コ ム ギ	—	—	—	—	—	—	—	
		カ ラ ス ム ギ	—	—	—	—	—	—	—	
		ラ イ ム ギ	—	—	—	—	—	—	—	
		ア	ワ	卅	十	卅	卅	卅	卅	
		キ	ビ	卅	十	卅	卅	卅	卅	
		ヒ	エ	卅	十	卅	卅	卅	卅	
		モ	ロ	卅	十	卅	卅	卅	卅	
		コ	ウ	卅	十	卅	卅	卅	卅	
		ト	ウ	卅	十	卅	卅	卅	卅	
実験方法		水 陸	稲 稲	十 十	十 十	十 十	十 十	十 十	十 十	

供試した作物名、栽培年度などを一括して第1表に示した。栽培条件については特別な留意を払わず畑作慣行法に準じた。種子中の胚をはじめとし、生育の各時期に適宜材料をとつたが、1952年度のムギ類については一定の時日ごとに詳しく観察した。茎葉各部については生材料あるいはF.A.A液保存材料を徒手切片とし、I-IK液で染色検鏡し、胚は休眠種子を70%酒精に2日間浸漬し固定と同時に膨化させて胚乳から分離、発芽中の幼植物の各部、稔実中の穎果

註：土は沃度反応を明らかに示さない微粒多糖類の存在

などとともにパラフィン切片としLillie氏法⁹⁾で染色検鏡した。

実 験 結 果

1. 種子の胚 胚の各部における澱粉あるいは微細な多糖類顆粒（沃度で明らかな呈色反応を示さないがSchiff液で染まる微細な多糖類顆粒、以下単に多糖類という）の分布状況は第2表に示すとおりで、ムギ類には澱粉が例外なく認められなかつたが他の雑穀類は既に多くの澱粉を蓄積し、生長円錐中にまで入つていた。ことに多い部位は胚盤で胚乳に近い部位は比較的小粒、胚に近接する部位は大粒となる。雑穀中ではヒエが最も多く、ついでアワ、キビとなり、トウモロコシは最も少なかつた。陸稲が水稻より少ないのは、陸稲全体の性質であるのか単なる品種間差¹¹⁾¹²⁾であるのかはさらに検討を要する。

2. 従属栄養期 1960年5月14日、室温27°C、螢光灯終夜照明下および暗黒下にペトリ皿上で発芽させ、2日および5日後に抜取つて澱粉分布を調べた。両者はほとんど同様であつたので、ここには2日後の成績を示す（第3表）。これによれば、全作物を通じて胚乳養分の利用やその養分の一部を茎葉中に澱粉として蓄える過程に光は直接の関係をもたないことが知られる。澱粉蓄積の多少は部位によつて異なり、胚盤は特に多く、ついで胚軸や鞘葉節部の柔細胞中に多い。ムギ類は夏禾穀に比し茎葉

第1表 供試禾穀類の品種、栽培年度一覧表

作 物 名	品 種 名	栽 培 年 度	場 所
オ オ ム ギ	岡 山	1952・10・25播種	東大圃場
モチオオムギ	不明（山梨産）	〃	〃
コ ム ギ	農 林 69 号	〃	〃
カ ラ ス ム ギ	日 向 改 良 早 生	〃	〃
ラ イ ム ギ	ペ ト ク ザ ー	〃	〃
オ オ ム ギ	シ ョ ウ キ ム ギ	1958・5・11播種	東北大圃場
コ ム ギ	農 林 57 号	〃	〃
カ ラ ス ム ギ	ヴィクトリー1号	〃	〃
ラ イ ム ギ	ペ ト ク ザ ー	1958・10・28播種	〃
ア	滋 陽 紅 粘 穀	1958・6・13播種	〃
キ	猪 伏 早 生	1959・4・27 〃	〃
ヒ	田 原 村 在 来	〃	〃
コ	市 原 在 来	〃	〃
ウ	朝 鮮 穆 子	〃	〃
リ	紅 棒	〃	〃
ヤ	黒 緒 2 号	〃	〃
ン	八 列 早 生	〃	〃
ト	Wisconsin	〃	〃
水 稲	農 林 17 号	1959・4・27播種(畑)	〃
陸 稲	オワリハタモチ	〃	〃
コ ム ギ	ガ イ セ ン モ チ	〃	〃
	農 林 50 号	〃	〃

* 昭和36年6月20日 受理

第3表 禾穀類発芽幼植物の澱粉分布 (播種2日後, 27°C, 1960)

作物名	光の有無	生長点 ⁽³⁾ 直下	鞘葉		第1葉		第2葉		第3葉	胚軸	胚盤	根		
			下半	上半	LB	LS	LB	LS				伸長部	未伸長部	根冠
イネ(農17)	明暗	卅~卅	卅~卅	卅	卅~卅	卅	卅	卅	卅	卅~卅	卅	一~卅	卅~卅	卅
コムギ(農55)	明暗	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	一	一	卅
オオムギ (ショーキ)	明暗	卅~卅	卅	+	+	+	+	+	+	卅~卅	卅	一	一	卅
アワ (猪伏早生)	明暗	+	+	+	+	+	+	+	+	卅~卅	卅	一	一	卅
トウモロコシ (Flint) ⁽¹⁾	明暗	卅~卅	卅~卅	卅	卅~卅	卅	卅~卅	卅~卅	卅~卅	卅~卅	卅~卅	一	卅	卅~卅
ク (Sug.) ⁽¹⁾	明暗	卅~卅	卅	+	+	+	+	+	+	卅~卅	卅	一	卅	卅

註 (1) 品種名不明, (2) 土は沃度呈色反応が認められない微細な多糖類の存在を示す, (3) 生長円錐およびその直下の若い節部。

第4表 生育中の禾穀類の茎葉における澱粉分布

観察年月	作物名	若い部位				根冠	成熟部位		
		生長円錐	生長円錐直下の節部	葉鞘	冠根		茎部	葉鞘	冠根
1959.2	ケンタッキ-31-フエスク ⁽¹⁾	+	+	+	+	卅	一	一	一
ク	オーチャードグラス ⁽¹⁾	+	+	+	+	卅	一	一	一
ク	チモシーグラス ⁽¹⁾	+	+	+	+	卅	一	一	一
1953.2	オオムギ	+	+	+	+	卅	一	一	一
ク	コムギ	+	+	+	+	卅	一	一	一
ク	ライムギ	+	+	+	+	卅	一	一	一
ク	カラスムギ	一~+	+	+	+	卅	一	一	一
1959.5	コムギ ⁽³⁾	一	+	一	一	卅	一	一	一
ク	アワ	一	+	+	+	卅	+	+	一
ク	キビ	一	+	+	+	卅	+	+	一
ク	モロコシ	一	一	一	+	卅	+	+	一
ク	コウリヤン	一	一	一	+	卅	+	+	一
ク	トウモロコシ	+	+	+	+	卅	+	+	一
ク	水稲(畑)	+	+	+	+	卅	卅	卅	一
ク	陸稲(畑)	+	+	+	+	卅	卅	卅	一
1959.7	アワ	+	+	+	+	卅	+	+	一
ク	キビ	+	+	+	+	卅	+	+	一
ク	コウリヤン	+	+	+	+	卅	+	+	一
ク	トウモロコシ	+	+	+	+	卅	+	+	一
ク	水稲	+	+	+	+	卅	卅	卅	一

註 (1) 1958年播種し2回刈取り後の萌芽につき調査, (2) 根端部の若い導管細胞に少量認められたもの, (3) 4月27日播種した農林50号, (4) すべて幼穂軸中の澱粉, (5) 土は沃度反応を明らかに示さない微粒の多糖類の存在を示す。

第1図 成熟節間柔組織細胞内の澱粉粒
右イネ, 左キビの剪穂後の程中央部の横断面(キビはイネに比して Origin の数多く, 粒は小さい)

中の澱粉ははるかに少ないが, 胚盤と根冠には他作物と同様に蓄積がみられる。

3. 独立栄養期 何回かの観察結果を第4表に示す。禾穀類全般に分裂後の緩生育中の新しい細胞には沃度反応の明らかでない多糖類ないし微細澱粉粒が蓄積するが, その程度は種間で多少異なり, イネでは生長円錐内, 分化直後の葉原基から数枚の葉鞘基部およびそれらの着生する節部などにも澱粉が分布し最も多かった。細胞が緩生長から急伸長に入るといずれの作物でもこれら炭水化物は消失し, 以後成熟細胞には一般に澱粉蓄積が著しく少ないのに対し, イネのみは再び前より一層大粒かつ多量を蓄積する²⁰⁾。禾穀類全部

写真 1. 禾穀類種子胚盤の澱粉分布一例

1. 水稻（農林 17 号），2. 陸稻（オワリハタモチ），3. コムギ（農林 58 号），
4. オオムギ，5. モロコシ，6. ヒエ，7. アワ，8. トウモロコシ，×280

を通じて根冠⁷⁾には常に明らかな澱粉蓄積をみるが、ムギ類では根冠以外の部位にはほとんどなく、オオムギのみが生長円錐、若い茎や葉鞘にある程度蓄積⁶⁾していた。またムギ類といえども成熟花粉粒、稔実初期の果皮^{3,4,7)}にはイネに劣らぬ澱粉を含有していた。

伸長終了後の成熟茎葉組織においてはイネ以外はほとんど澱粉を蓄えなかつたが、Statolith⁷⁾として知られる節間基部、葉鞘基部の維管束内側の柔組織および根冠には常に澱粉が存する。伸長しきつた根の柔細胞には各作物とも澱粉を蓄えることは少ない。ただしイネは地上部茎葉各部に多量の澱粉を蓄えるような体内状態のときには中程度の老熟根（著しい古根と発根後間もない新根との間に存する根）の基部柔組織には多く蓄えることがある。

4. 出穂期の穂切除と組織内澱粉との関係 各作物それぞれの出穂期に穂を切除すると光合成産物は茎葉にたまってくるが、処理 2 週間後に茎葉各部をみるに、イネを除いて澱粉蓄積は少ない。比較的多いのは夏作雑穀で、茎や葉鞘の維管束周辺に明らかに澱粉蓄積を増すがその程度はイネに較べはるかに少ない（第 1 図）。ムギ類ではほとんど増加を認め得なかつた。イネでは茎葉にきわめて大粒多粒の澱粉を蓄えるに至るのみならず、根基部の皮層柔細胞にまでたまふ。同時に高節位分けつも簇生するが¹⁰⁾、他の作物では新分けつの発生はわずかであつた。

5. 品種および野生稻 栽培稻の中、日本稻では草型、熟期などを異にする 20 数品種および A, B, C 型それぞれの代表品種 6 品種などについても、生育を追つて澱粉の消長を追跡した。蓄積量に多少の品種間差はあつたが、いずれもほぼ同様に消長し、イネの栽培種が多量の澱粉を蓄える能力を有することは確実である。しかしこの特性は単に栽培稻のみならず広く野生稻にも一般であり、筆者の調べた下記の種にあつても例外はなかつた。

支那野生稻 *O. sativa* f. *spontanea*, 印度野生稻 *O. sativa* var. *fatua*, 台湾野生稻 *O. formosana*, セイロン野生稻 *O. sativa* var. *?*, *Oryza minuta*, *O. latifolia*, *O. officinalis*, *O. australiensis*, *O. eichingeri*, *O. glaberrima*（いずれも東北大学農学教室保存中のもの、当教室に謝意を表わす）

考 察

イネに限らず禾穀類茎葉組織は外部から糖の形で炭水化物が過剰に流入すれば暗中でこれを澱粉にする機構^{4,17)}をもつのであつて、発芽時の胚盤の移動澱粉貯蔵はその著しい例である。胚乳澱粉は発芽に際し糖の形となつて上皮組織をとおり、幼植物の生長に使用され、その残りは一時的に胚盤の柔組織に蓄えられるものと考えられ^{5,6,15,16)}、胚乳から活性生長素が胚盤に入つてここで不活性となり、幼植物の先端部に至つて

再び活性化する現象²²⁾や各部における呼吸特性の差異¹⁵⁾などはこの考えを支持するようである。また、筆者は White の培養基上で生長点近傍を暗黒下に培養したイネでも、胚乳に依存して生長する白子植物でも、炭水化物源が絶えない限り柔組織内に多量に澱粉を蓄えることを観察したが、この事実も同様の機構を暗示する。

種子にはじまり従属栄養時代の胚や幼植物、さらに独立栄養期の急生長中の若い組織では雑穀類もイネに劣らぬ澱粉を含有するにかかわらず、独立栄養期の作物体の大部分を構成する成熟柔組織ではイネのみが多量に蓄えるのに対して他の穀類は段違いに少なく、ことにムギ類は特殊部位を除いてほとんど蓄えない。ムギ類はアミラーゼ活力が強すぎて茎葉中に炭水化物を澱粉として蓄える能力が弱いという報告もあり¹⁾、炭水化物の余剰は蔗糖や fructosans の形で蓄えられるのであろう^{2,4,5,12)}。しかし発芽時の胚盤、根冠、成熟花粉粒、稔実初期の果皮、胚乳などには他の穀類に劣らず多く存し、また Statolith starch は常に存するのであるから、条件によっては蓄積する可能性はある。雑穀類では成熟組織に蓄積少なく剪穂しても著しい増加が認められないことから考えると、同化された炭水化物はイネに比してはるかに生長速度の大きい茎葉の新組織形成に消費される分が多く余剰が少ないこと、澱粉合成の起る糖濃度が高いこと^{18,21)}、あるいは稈、葉鞘ともに柔組織の占める割合がイネに比してはなほ大きいため光合成産物がある程度増しても目立つた澱粉の増加として認め難いこと、大きな茎葉による呼吸消耗が大きいことなどが関与しているであろう。

以上の推論は今後の検討にまつべきであるが、いずれにしてもイネが禾穀類中で特に茎葉中に移動澱粉の蓄積が多く、かつその変動が著しい^{10,14,23)}という特性は、イネの生育、生理現象を理解する上で澱粉に注目することの意義を示唆しており、Clements²⁴⁾ が甘藷で葉鞘内の Sucrose 含量をもつて栄養診断の指標とし、長谷川ら⁸⁾も葉分析で同様の考えを述べていることと軌を一にする。なお、澱粉蓄積に関するイネ類、雑穀類、ムギ類の3群別は系統学的な群別とも一致している。

摘 要

茎葉組織内に澱粉を蓄積する状況につき禾穀類間の比較観察を行なった結果、(1)野生稻をも含めてイネは他の禾穀類よりはるかに多量かつ大粒の移動澱粉を茎葉柔組織に蓄積する。その程度の大きいものからあげるとイネ>雑穀類>ムギ類の順となり、ムギ類はことに少なく、澱粉蓄積に関して3群が区別できる。(2)イネの組織内澱粉蓄積量が特に多くかつ変動しやすいことは、この澱粉量の消長を一つの指標としてイネの生長、栄養状態などを理解することの可能性と意義を示唆している。

引用文献

- 1) 相見・村上：日作紀，23：277～280，1955.
- 2) ARCHBOLD, H.K.: Ann. Bot., N.S., 2: 403～435, 1938.
- 3) CHOATE, H.A.: Bot. Gaz., 71: 409～425, 1921.
- 4) ECKERSON, S.H.: State Coll. Wash. Agr. Exp. Sta. Bull. 139, 1917.
- 5) EDELMAN, J. et al.: Jour. Exp. Bot., 10: 178～189, 1959.
- 6) FRENCH, R.C.: Plant Physiol., 34: 500～505, 1959.
- 7) HABERLANDT, G.: Physiological Plant Anatomy, 1914.
- 8) 長谷川・大庭：兵庫農大報告，1: 5～8, 1953.
- 9) 市川：細胞化学，1953.
- 10) 石塚・田中：土肥雑，23: 159～165, 1953.
- 11) JACOBSON, L.A.: (Miller, E.C., Plant Physiology, 1938 より).
- 12) JAMES, A.L.: New Phytol., 39: 133～144, 1940.
- 13) KEMP, W.B. & HENSON, P.R.: Abst. 25th Ann. Meet., Am. Soc. Agron., 1932.
- 14) 村山他：農技研報告B第4号，1955.
- 15) 太田：発芽の化学（生命現象の化学，I. II.），1955, 1961.
- 16) O'BRIEN, J.A.: Amer. Jour. Bot., 38: 684～696, 1951.
- 17) SANDSTEDT, R.M. & BECKORD, O.C.: Cereal Chem., 23: 548～559, 1946.
- 18) SAPOSCHNIKOFF, W.: Ber. Deut. Bot. Gesell., 11: 391～393, 1893.
- 19) 佐藤：日作紀，28: 30～32, 1959.
- 20) 佐藤：日作紀，23: 261～263, 1955.
- 21) SCHIMPER, A.F.: Bot. Ztg., 43, 1885.
- 22) TEGETHOFF, B.: Planta, 38: 648～682, 1951.
- 23) 戸部他：日作紀，22: 95～97, 1954.
- 24) TRUOG, E., Mineral Nutrition of Plants, 1953.

Studies on Starch Contained in the Tissues of Rice Plant

VII. Comparative studies of starch content in several cereal crops

Kanoe SATO

(Faculty of Agriculture, Tohoku University)

Summary

Starch contents in the tissues of seed embryo, young seedlings, and adult plants were compared among cereal crops such as rice (A, B, C type, more than 25 varieties of Japanese type and several species of wild rice), wheat, barley, rye, oat, corn, sorghums, proso, barnyard millet and Italian millet. The following results were obtained:

(1) Rice plants (including wild rice) always contain much and greater starch grains than the other crops in the parenchymatous tissues of matured culm internodes and leaf sheaths. Corn, sorghum, proso and millets were similar in their starch content in the embryo of seeds or in young seedlings, being feeded by the endosperm, although they contained much starch sometimes. However, in later the adult plants would have a little starch in the matured parenchyma. Wheat, barley, rye, and oat, on the other hand, scarcely contained starch in the embryo of seed and in the parenchyma of adult plant, except scutellum of germinating seeds, matured pollens, pericarp of ovary of the early maturing stage, endosperm cells and so-called statolith starches in root caps and the basal part of internodes and leaf sheaths.

(2) Since the starch content in the matured tissues of rice plants is peculiarly abundant and changes remarkably with the stage of growth and environmental factors, the brief estimation for starch content in the tissues by I-IK solution should be used to estimate the nutritional or physiological state of rice plant.