

水稻の高温稔実障害に関する研究第4報

誌名	日本作物學會紀事
ISSN	00111848
著者	佐藤, 庚 稲葉, 健五
巻/号	45巻1号
掲載ページ	p. 151-155
発行年月	1976年3月

水稻の高温稔実障害に関する研究

第4報 稔実初期の¹⁴C同化産物の転流に及ぼす高温の影響*

佐藤 庚・稲葉 健五

(東北大学農学部)

前報¹⁾において、高温下では、常温下に比べて稔実期間が短縮されて、千粒重が小さいままで稔実が停止することを報告した。この早期稔実停止の原因を探るため、本報においては、開花直後から、開花後2週間前後までの稔実期間における¹⁴CO₂の同化および同化産物の穂への転流に及ぼす高温の影響を検討した。

材料および方法

I) 1970年度の実験：栽培法は前報²⁾と同様であるが、簡単に記すと、5000分の1アールのワグネルポットに粘土分に富む砂をつめ、水稻農林17号を1株2本植、2株ずつ移植した。肥料は2週間おきに更新し、毎回のN濃度は土壌の容積に対して20ppmになるようにした。8月11日、当日出穂した茎の中で生育程度の揃った茎をポット当り10本前後選び、残りの茎を株元から切り除き、3日後にそれぞれ昼一夜温、35—30°C、25—20°Cに調整した自然光利用の2つのキャビネットにそれぞれ4ポットずつ搬入し、3日間の温度処理を行なった。処理終了直後に戸外においたプラスチック製の同化箱(約220l)に2回に分けて4ポットずつ入れ、ポット当り250μCiの¹⁴CO₂を株全体に30分間同化させた。同化終了時に一部をサンプルするとともに、35—30°前処理を行なったポットは、35—35°、35—30°の2つのキャビネットに25—20°の前処理を行なったポットは、25—25°、25—20°の2つのキャビネットに2ポットずつ搬入して稔実を継続させ、1日後、2日後にそれぞれ6茎ずつサンプルした。サンプル材料は直ちに、穂、葉身、葉鞘十茎にわけ、90°Cで30分間、70°Cで2日間送風乾燥させ、120メッシュ以下に粉砕し、Aloka Model TDC-2型ガスフローカウンターを用いて活性を計測した。

II) 1973年度の実験：同様に栽培した水稻農林17号を8月7日、当日出穂した茎を各ポット10本前後選び、開花が終了して3日後の8月13日に、6ポットを35—30°(高温区)のキャビネット内に、6ポットはそのまま戸外(戸外区)においた。温度処理開始

後3日、6日、9日目に高温区、戸外区それぞれ2ポットずつを用いて前年と同様にプラスチック製同化箱内で、ポット当り150μCiの¹⁴CO₂を30分間同化させた。同化終了時にそれぞれのポットから数本の茎をサンプルした後、ポットをそれぞれの処理条件にもどし稔実を継続させ、1週間後に再びサンプルした。サンプル材料は直ちに凍結真空乾燥し、-25°Cの氷室に保存した。この材料を120メッシュ以下に粉砕し、ガスフローカウンターで¹⁴Cの活性を計測するとともに、2gの材料について、佐々木らの方法³⁾に準じて、fig.1に示すように各成分に分画し、それぞれの分画について活性を測定した。

実験結果

I) 1970年度の実験

¹⁴C-処理終了時の¹⁴C一同化量は、高温前処理区で4,390cpm/10mg D.W.、低温処理区で4,280cpm/10mg D.W.であり、光合成に及ぼす温度前処理の影響は明らかではなかった。

それぞれのサンプル時の地上部全体に存在する¹⁴Cを100として、稲体各部分に存在する¹⁴Cの割合(転入率、%)をfig.2に示した。¹⁴C供与2日後の葉身

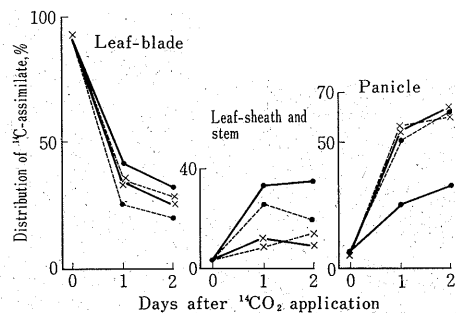


Fig. 2 The effects of day-night temperature upon the translocation of ¹⁴C-assimilates (1970)

	Pretreatment	Posttreatment
●—●	25—20°C	25—20°C
○---○	〃	25—25°C
×—×	35—30°C	35—30°C
×---×	〃	35—35°C

* 昭和50年8月4日受理

第158回講演会(昭和49年10月)にて発表。

に存在する¹⁴Cの割合は、25—20°区で最も多く、25—25°区で最も少ない。昼温が35°の2区は、その間に位置し、夜温の高低による差は少なかった。葉鞘+茎部においては、高温区に比べ低温区、特に25—20°区で蓄積割合が高い。その結果、穂の¹⁴Cの蓄積割合は25—20°区で著しく低く、他の3区間には、有意な差は認められなかった。

II) 1973年度の実験

稔実過程の時期別に¹⁴Cを供与した場合の¹⁴Cの取込みとその分布割合をtable 1に示した。乳熟期に¹⁴Cを同化させて10日前後までの根への転流率は少ない⁸⁾といわれているので、本実験では地下部への転流を考慮しなかった。¹⁴C供与直後は、温度、稔実ステージにかかわらず、¹⁴Cは葉身部に70%前後蓄積されており、同化30分以内では籾への転入はほとんどみられない。高温区では温度処理開始後3日目の稔実初期(I)に¹⁴Cを供与した場合には、1週間後に77%が穂に蓄積しているが、II, IIIと稔実時期が進むにつれて¹⁴Cの穂に対する転入割合が減少し、相対的により多くの¹⁴C-同化産物が茎葉部に残留するようになる。一方戸外区では、高温区に比べて稔実初期には茎部に残留する¹⁴Cの割合が高く、後期には次第に穂に蓄積する割合が高まる。この傾向は高温と戸外で稔実させた場合の籾あるいは玄米千粒重の増加傾向⁵⁾と一致しており、高温下では初期の稔実が速やかで、中期から衰えるのに対して、戸外では比較的一定の速度で稔実することと対応している。

¹⁴C-同化量から光合成速度を類推すると(table 2)、¹⁴C-供与ステージによつて乾物10mg当り2,000から2,500cpmくらいの開きはあつたが、35°区と戸外区との間には明らかな差異がみとめられなかった。

穂上位置別の籾の¹⁴Cの蓄積割合はtable 3の通りである。高温区では第1回の¹⁴C供与後1週間において(I)、すでに穂上位置に関係なく全籾に一樣に

¹⁴Cが転入している。しかし、温度処理11日目に¹⁴Cを供与した第3回では(III)、早期開花籾(A)には¹⁴C同化産物がほとんど転入していない。一方戸外では、第1回の穂全体の籾の¹⁴Cのカウント数が高温区より少ないばかりでなく、同化産物は早期開花籾や上位籾へ優先的に転流して、下位籾には分配が少ない。しかるに第2, 3回目では、穂の位置に関係なく、各部の籾に盛んに転入し、1穂全体の転入量も高温区より多く、上位籾への転入も依然多い。

¹⁴C-同化産物がどのような形態で存在するかをみると(fig. 3)、¹⁴C-供与直後には、茎葉の同化産物の70~80%が糖であり、これにアミノ酸、有機酸、脂質を加えた80%酒精可溶性のものは、茎で80%以上、葉身で90%にも達している。供与1週間後の葉身では、その大部分の糖が転出したこともあずかつて酒精不溶性の蛋白質、澱粉、膜物質の割合が70%にも達する。葉鞘、茎においても同様に酒精不溶性の割合が増加するが、その程度は葉身に比べて少ない。これらの傾向は温度によつても、稔実ステージによつても著しい影響を受けなかった。

玄米においては、高温区の第3回7日目では、澱粉、蛋白質などの割合が、他の時期に比べて明らかに低下し、糖、アミノ酸などの酒精可溶性物質の割合が増加している。穂の上部と下部においてみると、上部に比べて下部では、この傾向がさらに顕著であつた。

考 察

高温下では、初期の稔実速度は早い、稔実期間が著しく短縮されることを報告した⁵⁾。本実験でも、同様の傾向がみられ、特に開花2週間前後で早期開花籾の稔実が停止していることが確認された。しかし、同時期においても下位籾にはなお盛んに¹⁴C-同化産物が転入している。このことは、何らかの理由で籾の炭水化物受入れ能力が喪失していない限り、早期開花籾

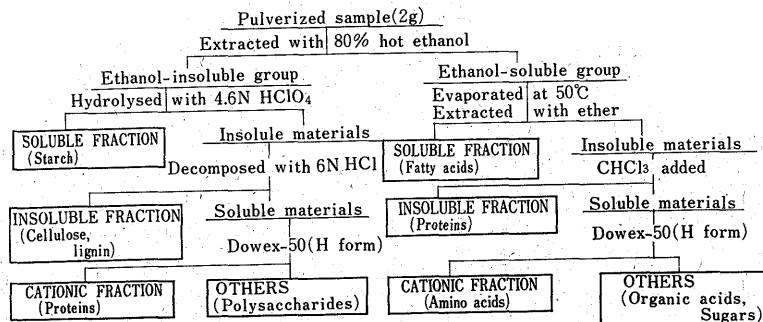


Fig. I Fractionation processes of ¹⁴C-assimilate

Table 1. ¹⁴CO₂-assimilation and-translocation as affected by temperature and ripening stage (1973)

Organs	Temperature	(I) ¹⁾		(II)		(III)	
		0 ⁴⁾	7 ⁴⁾	0	7	0	7
		cpm ²⁾	% ³⁾				
Panicle	35°—30°	37(0.4)	5,531(77.4)	47(0.3)	5,203(67.2)	47(0.3)	2,674(58.1)
	Outdoor	47(0.6)	3,922(62.0)	38(0.3)	5,289(71.5)	46(0.3)	4,305(78.1)
Leaf-blade	35°—30°	6,873(73.2)	723(10.6)	6,833(70.1)	713(11.0)	6,103(71.5)	973(19.3)
	Outdoor	6,703(69.0)	704(12.5)	7,221(72.5)	1,012(15.0)	6,278(75.9)	882(13.5)
Leaf sheath and stem	35°—30°	1,032(26.4)	383(12.0)	836(29.6)	533(21.8)	855(28.2)	873(22.7)
	Outdoor	978(30.4)	577(25.5)	736(27.2)	403(13.0)	688(23.8)	431(14.4)

- Notes: 1) ¹⁴CO₂ was applied at the 3rd (plot I), 7th (plot II) and 11th (plot III) day after the temperature treatments started
 2) cpm/10 mgDW
 3) Percentage of ¹⁴C present in each organ to ¹⁴C present in total shoot
 4) Sampled at the end of ¹⁴CO₂ application (start) and 7 days thereafter

Table 2 Effects of ripening stage and temperature on the ¹⁴C-assimilation (1973)

Ripening stage	(I)	(II)	(III)
Temperature	35°- 30°	out- 30°	door
¹⁴ C-assimilation	22.8	21.7	24.5
	24.6	19.8	20.2

- 1). (cpm/10mgDW of each organ) × (DW of each organ) × 10⁻² at the end of each ¹⁴C-application
 Symbols are the same as in Table 2.

にも、炭水化物が続けて流入してもよいことを示す。換言すれば、早期開花籾は、この時期には既に受入れ能力を喪失していたと考えられる。

昼温 25° 区において夜温も 25° にすると、穂への転流が著しく上昇した。転流は主に夜行なわれるという報告⁷⁾ もあることから、夜温を転流適温に近い 25° に上げたことが葉身から ¹⁴C の転出を速めたものと考えられる。

光合成速度は、約 33°C 以上になるとわずかであるが低下するといわれている^{1,2)} が、35—30°C ではその低下はすくなく、戸外と同様であった。

著者らの測定によれば、本実験のキャビネット内の光の強さは、戸外条件に比べて少なくとも約 70% が確保されており、さらにポット栽培であることを考慮すれば、光不足がキャビネット内の光合成を戸外より低下させることは考えられない。ただ高温区では呼吸促進のため同化産物が戸外より多く消耗されて、見かけの光合成速度を小さく表現することは考えられるが、稔実初期から開花後 2 週間目の範囲では、¹⁴C 取込み量から類推した光合成速度には、高温区と戸外区の間にも明らかな差はみとめられなかつた。

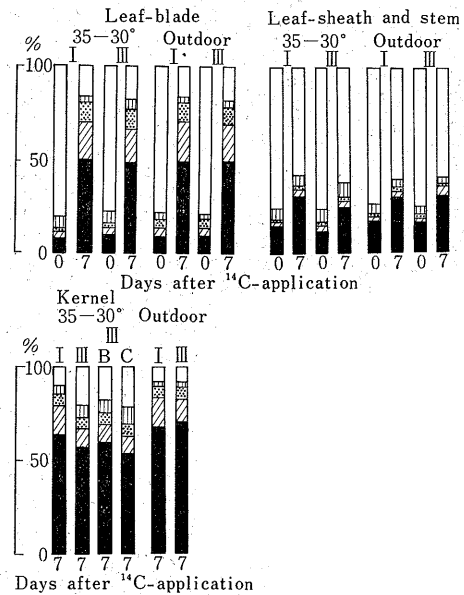


Fig. 3 ¹⁴C distribution among several fractions as affected by ripening stage and temperature (1973)

- Symbols are the same as in Table 2 and 3.
 ■ Starch, polysaccharide and wall substances, ▨ Lipids, ▤ Amino-acids, □ Sugar, organic acids, ▧ Protein

同化された ¹⁴C の水稻体内での存在形態は、温度、稔実ステージにより大きな影響を受けなかつた。高温区では、特に第 3 回処理の玄米において、酒精可溶部分の割合が増加している。高温区では、千粒重が開花後 2 週間目頃に最大に達した後、3 週間から 4 週間目にかけて多少減少するという報告⁶⁾ と関係があるとも考えられる。

Table 3 ^{14}C -accumulation (cpm/10 mgDW) in the grains a week after ^{14}C -application to whole shoot, as affected by ripening stage and temperature (1973)

Ripening stage Temperature	(I)		(II)		(III)	
	35°—30°	outdoor	35°—30°	outdoor	35°—30°	outdoor
all grains	5,531	3,922	5,203	5,289	2,574	4,307
grain A	5,603	4,368	3,903	5,010	43	3,964
grain B	6,023	4,294	6,071	5,669	1,351	4,616
grain C	4,987	2,633	5,751	5,243	4,688	4,032

A: Spikelets which flowered early

B: Spikelets of upper part of panicle

C: Spikelets of lower part of panicle

摘 要

水稻農林 17 号の稔実期の稲体全体に $^{14}\text{CO}_2$ を供与して高温下 (昼—夜温, 35°—30°C) の光合成, およびその同化産物の転流を戸外と比較した結果, 以下のことが明らかにされた。

1. ^{14}C の穂への転入速度は, 25—20° 区で著しく遅く, その多くが茎葉に残留する傾向が見られたが, 夜温だけ 5°C 上げると 35—35°, 35—30° 両区とほぼ同程度に穂への転入速度が増加した。したがって日平均気温 25°C (25—25°) と 23°C (25—20°) の間には転流速度に大きな差が認められた。

2. 高温区の稔実初期に与えた ^{14}C は, 1 週間の間にその 8 割近くが穂に蓄積し, しかも穂全体に均一に転入したが, 開花 2 週間後に与えた場合には早期に開花した籾への転入が激減し, 穂への転入割合が急減して茎葉に多く蓄積した。しかし下位の遅く開花した籾にはなおよく転入した。戸外区では開花 2 週間後までの範囲では, 稔実が進むにつれて与えた ^{14}C の籾への蓄積割合は, 次第に増加した。この場合稔実初期には, 穂の上部に多く下部は少ないが, 次第に全籾に一樣に多く転入した。

3. ^{14}C -同化量から類推した見掛けの光合成速度は, 開花後 2 週間までの期間では, 高温区と戸外区の間で明らかな差は認められなかった。

4. ^{14}C -同化産物は, $^{14}\text{C}_2$ 供与直後は 70% 前後が葉身にとどまり, その形態は葉身で 90%, 葉鞘, 茎で 80% が酒精可溶性の物質に含まれ, この傾向は前歴の温度, 稔実ステージによつて明らかな影響を受けなかった。

しかし供与後 1 週間たつと, 葉身, 茎とも酒精不溶性物質への取込み割合を増し, ことに葉身における増加が著しかった。一方籾においては, 高温区の方が酒精不溶性物質への取込みが少なかったが, 特に第 3 回供与 1 週間後では高温区における澱粉, 蛋白質などへ

の取込み割合が低下し, アミノ酸, 糖などに多く取込まれ, ことに穂の下部において顕著であつた。

引用文献

1. 村田吉男・戸刈義次 1972. 日本における水稻収量の地域差に対する気象条件の役割. 日作紀 41: 372—387.
2. ————・猪山純一郎・本間 力 1965. 水稻の光合成に関する研究. 第 13 報. 光合成と根の生長および活力との相互関係. 日作紀 34: 148—153.
3. 佐々木信介・工藤啓一・福重裕康 1968. 水稻の登熟期における光合成産物の転流について. 日作東北支部会報 10: 17—18.
4. 佐藤 庚 1970. 水稻葉の光合成におよぼす環境の影響. 日作紀 39: 370—375.
5. Sato, K. and M. Takahashi 1971. The development of rice grains under controlled environment. I. The effect of temperature, its daily range and photoperiod during ripening on grain development. Tohoku Jour. Agr. Res. 22: 57—68.
6. 佐藤 庚・稲葉健五・戸沢正隆 1973. 高温による水稻の稔実障害に関する研究. 第 1 報. 幼穂形成期以降の生育時期別高温処理が稔実に及ぼす影響. 日作紀 42: 207—213.
7. 関岡 行 1962. 甘藷における Sucrose- ^{14}C の転流蓄積におよぼす光の強さの影響. 日作紀 31: 159—162.
8. 田中 明 1958. 葉身別に見た水稻葉の生理的機能の特性及びその意義に関する研究. 第 11 報. 各葉位葉の同化作用力及び同化産物の移動. 土肥誌 29: 327—333.
9. 山田 登・村田吉男・長田明夫・猪山純一郎 1955. 水稻の光合成に関する研究. 日作紀 23: 214—222.

High Temperature Injury of Ripening in Rice Plant

IV. Effect of high temperature on ^{14}C -assimilation and translocation at an early ripening period

Kanoe SATO and Kengo INABA

(Faculty of Agriculture, Tohoku University, Sendai)

Summary

The effects of high temperature (day-night, 35—30°C) upon photosynthesis and assimilate translocation to panicle were investigated by application of $^{14}\text{CO}_2$ to the whole plant at several ripening stages.

1) Translocation rate of ^{14}C -assimilates into panicle was very low at 25—20°C, leaving much ^{14}C in the straw. Rising night temperature to 25°(25—25°C) increased the rate equivalent to those at 35—35°C and 35—30°C. Therefore, a great difference was found in the translocation rate between daily mean temperature of 25°(25—25°C) and 23°(25—20°C).

2) At high temperature, ^{14}C assimilated at an early ripening stage was found one week later in grains as much as 80% of total shoot ^{14}C , but that assimilated two weeks after flowering remained much in the straw with a decreased amount in the grains. At outdoor natural temperature, on the contrary, the percentage of ^{14}C found in the grains progressively increased as the ripening stage at which ^{14}C was assimilated advanced until two weeks after flowering.

3) At high temperature, ^{14}C assimilated at an early ripening stage translocated uniformly to all grains, but that assimilated two weeks after flowering moved little or much in the grains of upper or lower part of a panicle, respectively.

Under outdoor condition, ^{14}C assimilated at an early ripening stage moved much to the upper grains with a little accumulation in the lower grains. Thereafter it moved equally to all grains and still accumulated in upper or early flowered grains even at two weeks after flowering.

4) Just after $^{14}\text{C}_2$ application for half an hour, 90% or 80% of total ^{14}C assimilated were contained in ethanol-soluble fraction in leaf-blade or leaf-sheath plus stem, respectively.

One week after $^{14}\text{C}_2$ application, however, much of ^{14}C was found in ethanol-insoluble fraction in straw, especially so in leaf-blade. This tendency was little changed by temperature or ripening stage.

In the grains, less ^{14}C was found in ethanol-insoluble fraction at high temperature than at normal temperature. When ^{14}C was applied at a middle ripening stage, the less ^{14}C accumulation was found in starch and protein fraction at high temperature as compared with that at normal temperature, especially so in the lower grains of a panicle.

5) There was little difference in apparent photosynthesis between the plants ripened at high and normal temperatures as long as being deduced from ^{14}C assimilation.