高温による水稻の稔実障害に関する研究

第2報 穂と茎葉を別々の温度環境下においた場合の稔実*

佐 藤 庚・稲 葉 健 五

(東北大学農学部)

緒 言

前報¹⁾において、穂の発達過程および稔実過程の中では、開花前と開花後それぞれ2週間前後の時期の高温処理によつて干粒重が著減することを報告した。稔実期の高温による干粒重の減少は、高温により稔実期間が短縮されて籾の充実が不良になるためであるが、松島ら²⁾は、この減少が高温による呼吸の昂進のため、穂に転流すべき炭水化物が不足すること、および籾自身が高温によつて物質の受入れ能力を失うことによるのであろうと推定している。中山^{3,4)}は、稔実後期に小枝梗にステロイド様物質の蓄積がおり、これが籾の老化に関連し、高温下ではその蓄積が早くおこることを報告した。長戸ら⁵⁾は、夜間の穂温だけを変えた試験を行なつたが、糊粉層が高温下で厚くなることを認めたのみで詳細な報告はない。

本報においては、稔実期の高温による干粒重の減少によつて、同化産物の受入れ器官としての穂の機能が高温で早期に低下することが主因なのか、同化産物の生産器官としての茎葉の同化機能減退が主因なのか、または穂と茎葉の相互関係に変調がおこるためであるのかを明らかにする一つの方法として、穂と茎葉を異なる温度環境下において稔実させ、稔実に関与する穂と茎葉の相互関係を考察したものである。

材料および方法

1969 年度の実験：供試品種には Japonica 型の代表として農林 17 号を、Indica 型の代表として IR-8 を選んだ。前報¹⁾と同様の方法で生育させ、IR-8 は出穂期を早めるために8葉抽出時から約1カ月間、暗箱による8時間の短日処理を行なつた。IR-8 は8月5日、農林 17 号は8月18日に、生育がそろい、開花盛期を過ぎた穂をもつ茎を各ポット10本前後残してその他の茎を株元から切り除いた。穂と茎葉をそれぞれ異なる温度に遭わせるため、fig. 1 に示すように、

気温を異にする2室の間の仕切りのガラスの一部を切りとり、そこから穂を互に交叉させてそれぞれ隣の部屋に出し、昼間の穂の周囲の気温 / 茎葉の周囲の気温がそれぞれ、35/35, 35/30, 30/35, 30/30, 25/25, 25/20, 20/25, 20/20°C (夜温はそれぞれ5°C下げたが、以下区の表示は昼温で示す) となるように都合8区を設け、各区2ポットずつを供試した。処理開始日はそれぞれ穂を選択した当日である。空中湿度はほぼ60~70% R.H. に保たれた。両品種とも高温側4区(35/35, 35/30, 30/35, 30/30°C)は4週間後、低温側4区(25/25, 25/20, 20/25, 20/20°C)は5週間後にサンプルし、玄米の干粒重と品質を調査するとともに、茎葉の窒素、炭水化物の含有量を前報と同様の方法で定量した。

1970 年度の実験：Japonica 型の農林 17 号と短日操作による穎花への影響 (IR-8 では奇形花多発) をさけるために出穂期の早い Indica 型の帽子頭を供試し、前年度と同様に生育させ、両品種とも8月13日に生育が揃いかつ開花が終了したばかりの茎を各ポット5~6本ずつ残し、その他の茎を全部株元から切除して直ちに処理を開始した。温度処理区として穂の周

Fig. 1. An example of temperature treatment given separately to the panicle and the straw including roots.

G: glass O: opening

* 昭和 47 年 11 月 30 日 受理

第 151 回講演会 (昭和 46 年 4 月) において発表

囲の気温 / 茎葉の周囲の気温がそれぞれ、35/35, 35/25, 25/35, 25/25 となるよう4区を設けた。この場合も夜温は昼温よりもそれぞれ 5°C ずつ下げたが、区の設定は昼温で示した。空中湿度は 60~70% R.H. に調節した。各区それぞれの籾が十分黄化し成熟したと思われる時にサンプルし、玄米干粒重、稔実歩合、その他を調査するとともに、籾および茎葉の窒素、炭水化物などを村山氏の方法¹²⁾で定量した。

実験結果および考察

1969 年度の実験における玄米干粒重を fig. 2 に示した。両品種とも、穂を 35°C に、茎葉を 5°C 低くした 35/30 区は、穂も茎葉も 35°C の 35/35 区と同様に干粒重が著しく減少する。とくに熱帯に栽培される IR-8 の減少が著しいことは、注目し値する。反対に穂の温度だけ 5°C 低くした 30/35 区では、30/30 区の干粒重に IR-8 では完全に、農林 17 号においてもかなり近づいている。両品種とも穂だけ高温の 35/30 区は 35/35 区と同様に開花後 3 週間前後で穂が完全に黄化し、前報⁹⁾と同様に干粒重の減少は稔実期間の短縮によるものと考えられる。IR-8 においては、30/35 区と 30/30 区間の干粒重に差が見られないが、1 カ月間の短日処理のため奇形籾や不稔籾が多く発生（約 40%）し、稔実籾が少なかったことが関係したのであろう。干粒重の高い順にあげると 30/30 ≥ 30/35 > 35/30 ≥ 35/35 となり、穂の温度が低いことが干粒重の増加に重要である。すなわち茎葉に比べ穂の方が高温に敏感であり、穂自身が高温に遭遇することが干粒重低下の大きな原因となるのであつて、茎葉の高温

Fig. 2. The effects of temperature treatment given separately to the panicle and the straw on the 1000-kernel-weight (1969).

が関与する程度は軽いように考えられる。稔実の適温に近い低温処理区においては、25/25 区の干粒重はある程度減少したが、残り3区の干粒重にはほとんど差が見られない。玄米の外観的な品質については fig. 3 に見るように高温区で品質の低下が著しい。農林 17 号では 35/35, 35/30 両区において完全米がほとんどなく、乳白米が大部分を占めているのに対し、穂の温度だけ 5°C 低くした 30/35 区においては完全米、青米を合わせると約 75% になり、35/35 区より品質が向上し、茎葉も 5°C 下げた 30/30 区の品質は著しく良

Fig. 3. The effects of temperature treatment separately given to the panicle and straw on the number per-cent of kernels of different quality (1969).

perfect kernel green kernel white-belly kernel white-core kernel milky-white kernel notched-belly kernel irregular kernel opaque kernel

Fig. 4. The effects of temperature treatment separately given to the panicle and straw on the 1000-kernel-weight, fruiting index (fruiting percentage X 1000-kernel-weight), stem (panicle+straw) weight, TAC (total-sugar+crude starch) and nitrogen content in the panicle and straw (1970).

Notes: Norin-17 Boshito
 straw panicle

好となつた。稈実適温側の4区においては、穂が25°の25/25, 25/20 両区において不良米がやや多く、穂が20°の20/25, 20/20 両区では、品質は一樣に良好となつたが活青米の割合が高いので、収穫期をもう少しおくらせれば、さらに干粒重の増加が期待できよう。IR-8においては、35/35, 35/30 両区で死米 (opaque-kernel rice) が50%以上を占めるとともに、乳白米が目立つて多い。30/35区は30/30区と同様に死米が減り、腹白、心白、その他の不完全米の増加が目立つたが、全体として穂が35°の場合より品質が向上している。適温側の4区では、25/25区において完全米が少なく、死米その他の不完全米の割合が高く、次いで25/20区が品質が劣るが、20/25, 20/20 両区はほぼ同様である。IR-8においては農林17号に比べて完全米が非常に少なく、奇形粒が多いが、暗箱による短日処理が影響したのかも知れない。

次に、穂と茎葉の温度差を10°Cとした1970年度の実験の玄米干粒重 (fig. 4, A)は、5°C差で行なつた前年度の成績と同傾向を示すが、両品種とも穂だけ温度を低くした25/35区の干粒重は、35/35区、35/25区よりは明らかに高まつたが、25/25区より低い。干粒重の大きい順にあげると25/25>25/35>35/25>35/35となり、前年度と同様に穂の温度を下げるのがより重要であるといえる。しかし茎葉の温度もある程度影響があることは否めない。

次に稈実の良否をみるのに佐藤⁶⁾による稈実指数 (稈実歩合×干粒重) (fig. 4, B)を計算したところ、両品種とも干粒重と同傾向を示した。一茎重 (fig. 4, C)は、両品種とも35/35区が最も軽く、25/35, 35/25, 25/25の順に重くなっている。呼吸速度は穂でも茎葉でも高温ほど高いので⁸⁾、高温部分が多いほど呼吸による炭水化物の消耗が増加したことが一因であろう。また、穂が高温下におかれた場合には相対的に穂重が軽く、茎葉が重かつた。

成熟期の茎葉と穂の窒素成分および炭水化物成分の含有率はtable 1に示す通りである。1969年度と'70年度の成績は全く同傾向を示したので、ここには'70年度の成績だけを示した。蛋白態窒素含有率は、両品種とも籾、茎葉ともに35/35が最も高く、35/35>25/35>35/25>25/25の順に低下し、籾では帽子頭、茎葉では農林17号の方がそれぞれ高い傾向があつた。可溶性窒素の含有率は茎葉においては両品種とも蛋白態と同傾向を示しているが、穂においては両品種とも区間に明らかな差はみとめられなかつた。茎葉の粗澱粉含有率は両品種とも穂が高温 (35°C) の場合の方

Table 1. The effects of temperature treatments separately given to the panicle and straw on the concentrations of the protein-N, soluble-N, sol.-N/prot.-N ratio, total-sugar, crude starch and tot.-sugar/starch ratio in the grains and straw (% dry weight, 1970).

		Plot		35 35		25 35		35 25		25 25	
		Item	var	N-17	Boshito	N-17	Boshito	N-17	Boshito	N-17	Boshito
Grains		Prot.-N		1.83	1.97	1.68	1.91	1.62	1.87	1.35	1.32
		Sol.-N		.08	.08	.10	0.09	0.06	0.06	.07	.06
		Sol.-N/Prot.-N		.044	.041	.060	.047	.037	.032	.052	.045
		Tot. Sugar		2.5	1.2	1.2	0.5	1.5	1.6	1.0	0.6
		Starch		45.5	42.5	53.8	45.9	48.4	42.1	58.3	55.3
		Tot. Sugar/Starch		.055	.028	.022	.011	.031	.038	.017	.011
Straw		Prot.-N		.72	.49	.59	.47	.59	.41	.43	.37
		Sol.-N		.26	.14	.21	.16	.14	.09	.12	.09
		Sol.-N/Prot.-N		.36	.29	.36	.34	.24	.22	.28	.24
		Tot. Sugar		7.3	11.2	4.3	7.3	8.2	11.7	2.0	7.3
		Starch		8.3	3.6	3.7	3.2	12.0	6.4	5.0	3.0
		Tot. Sugar/Starch		.88	3.11	1.16	2.28	.68	1.83	.40	2.44

が高く、全糖も同傾向であるが、品種間では粗澱粉においては農林 17 号の方が、全糖においては帽子頭の方がそれぞれ含有率が高い。籾における粗澱粉含有率は茎葉とは反対に、穂が適温（25°C）におかれた場合の方が高く、全糖は逆に穂が高温におかれた方がわずかながら高くなっている。茎葉が高温にさらされると Sol.-N/Prot.-N 比は茎葉において高く、Tot.-Sugar/Crude Starch 比は、穂でも茎葉でも、それぞれ高温にさらされた部位で高い傾向を示している。低温下にある稲体でも同様な傾向が認められている^{5,6)}、体内で行なわれる蛋白質の合成と分解は、過高温下では後者がより速度が早いために蛋白質の分解が促されるといわれる¹⁵⁾ので、上述の傾向は体内生理に変調がおきてそれが稔実には何等かの悪影響を及ぼしていることを示唆すると思われる。

穂を含む一茎当りの炭水化物および窒素の含有量をみると (fig. 4, D, E), 炭水化物含有量は、両品種とも 25/25 区が最も多く 25/25>35/25>25/35>35/35 の順となる。しかし両品種とも穂が高温である区は茎葉により多くの炭水化物を残留しており、籾に移行した炭水化物の絶対量は 25/25>25/35>35/25>35/35 の順で、干粒重と同傾向である。穂が高温におかれると、開花後 3 週間前後⁶⁾に稔実が停止して干粒重を小にするとともに、両品種とも 10% 前後の不稔籾（穂が低温の場合は 3%）を生じている。したがって稔実停止以後炭水化物は穂に移行できずに茎葉に残留するものと思われる。一茎当りの窒素量は両品種と

も炭水化物とは反対に、高温区の 35/35 が最も多く、35/35>25/35>35/25>25/25 の順になった。しかし両品種とも、穂が高温におかれると、茎葉に残留する窒素が増加し、茎葉が高温におかれても茎葉に残留する窒素が増えている。穂と茎葉、またはその何れかが高温におかれて一茎当りの窒素量が増加したのは、高温処理開始後 2 週間前後から発生する高節位分けつが新根を発生して、これによる窒素吸収増加があつたことが主因ではないかと考えられる。

以上の結果から、穂が高温にさらされると、稔実が早期に停止し、炭水化物と窒素の穂への移行が中止されて、干粒重の低下、不稔籾の増加を招き、以後これらの物質は茎葉に多く残留することになると考えられる。しかし、茎葉が高温におかれたままで、穂の温度だけ低くしても、茎葉、穂とも適温の場合ほどに干粒重が十分大きくならないのは、茎葉の呼吸増進による同化産物の消耗が大きいこと、根の高温による活力低下が関係するからと思われる。また、茎葉だけ温度を低くすると、その呼吸による消費量が減少して、茎葉の同化産物供給量が増加するから、干粒重も増加すると思われるのに、穂が高温下にあつて籾の同化産物受入れ能力が早く減退するために、干粒重は十分に増加せず、その結果、茎葉に多く残留するものと考えられる。両年度とも、特に外国稲においては、穂の温度が 35° の場合に処理開始 2 週間目頃から高節位からの分けつの発生が盛んとなつたが、この時期が稔実の停止する時期とはほぼ一致することから、穂に移行できなく

なつた炭水化物、窒素、その他の栄養分が茎葉に多くたまることに伴ない⁵⁾ (fig. 4), さらに同化産物を優先して受入れていた穂がその機能を失うにつれてオーキシンのレベルや移動性にも変化が起つて^{13,14)}, 新しい分げつを伸長させたのであろう。

各無機成分の吸収量には明瞭な区間差はみとめられなかつた。処理間でほとんど吸収量に差のなかつた要素は N, P, Ca であり, 穂か茎葉が高温にあつて吸収量が増加した要素は Fe, K, Mn, Mg であり, Si は穂が高温におかれた場合に増加する傾向がみられた。

本実験では茎葉とともに根も同一温度環境に会っているから, その活力も問題になるが, 稔実期における地温の影響は少ないとされている¹¹⁾ので, 本報では考慮外に置いた。

摘 要

稔実期間の高温 (35°) による干粒重の低下に対して穂と茎葉がそれぞれどのような関係をもつかを検討するために, 開花終了後, 穂と茎葉を異なる温度環境下において稔実させた。Japonica 型の代表として農林 17 号を, Indica 型の代表として IR-8 と帽子頭を試した。

1) 農林 17 号, IR-8, 帽子頭の 3 品種とも, 程度の差はあれ, 干粒重に最も影響を与えたのは穂の温度であり, これが適温であれば干粒重は増加し, 高温であれば著しく減少した。穂温が同一の場合には, 茎葉の温度を低めると干粒重はかなり増加した。

2) 玄米の品質は, 穂温が高い (35°) と著しく劣悪化して, 農林 17 号では乳白米, IR-8 では死米, 乳白米が著しく増加し, 穂温を低める (25°~20°) と農林 17 号では, 完全米, 青米, IR-8 では, 完全米, 腹白米の割合が増加し, 両品種とも品質は良好となつた。

3) 穂, 茎葉ともに高温, または茎葉だけ高温にあわせた場合には, 農林 17 号, 帽子頭とも茎葉における蛋白態窒素に対する可溶態窒素の割合が高まつた。澱粉に対する全糖の割合は, 穂中では穂と茎葉ともに高温, または穂だけ高温にあわせた場合に高まり, 茎葉中では茎葉が高温の場合に高まつた。

4) 穂を含めた一茎当りの TAC (全糖 + 粗澱粉) 蓄積量は適温にさらされる部位が大きいほど高く, 25/25 > 35/25 > 25/35 > 35/35 の順であり, 穂温が高い場合には, 相対的に穂に少なく茎葉に多く残留し, 穂温が低い場合には, 穂への蓄積を増し, 茎葉に残留する TAC 量は少ない。

5) 一茎当りの窒素含有量は炭水化物とは逆に高温にさらされる部位が大きいほど高く, 35/35 > 25/35 > 35/25 > 25/25 の順となり, また穂温が低い方が相対的に穂に多くが移行して茎葉における残留は少ない。

6) 茎葉を高温におくことも玄米干粒重を減少させたが, その程度は穂を高温下におく場合ほど著しくはなかつた。後者の場合の干粒重減少の主因は高温による穂の同化産物蓄積機能の早期低下にあると考えられた。

引用文献

1. 松島省三・和田源七 1959. 水稻収量の成立原理とその応用に関する作物学的研究 第 52 報 水稻の登熟機構の研究 10 日作紀 28 : 44—45.
2. 長戸一雄・江幡守衛 1960. 登熟期の気温が水稻の稔実に及ぼす影響 日作紀 28 : 275—278.
3. 中山治彦 1969. 水稻における穂の老化現象 第 1 報 籾の老化と脱水素酵素作用の減退 日作紀 38 : 338—341.
4. ———— 第 2 報 小枝梗におけるステロール様物質の蓄積 日作紀 38 : 別号 : 109—110.
5. 佐藤庚 1959. 稲の組織内澱粉に関する研究 第 6 報・高節位側芽の生長について. 日作紀 28 : 30—32.
6. ———— 1964. ———— 第 10 報 穎花の発達および稔実に伴う各部組織内澱粉の消長 日作紀 33 : 29—34.
7. ———— 1966. ———— 第 12 報 気温が稲の生長および体内成分に及ぼす影響 日作紀 34 : 403—408.
8. ———— 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.
9. ———— 1971. ———— 第 3 報 高温下の稔実にともなう呼吸作用 (予報) 日作東北支部会報 14 : 27—28.
10. 島崎佳郎・佐竹徹夫・渡辺潔 1963. 生育初期の冷水灌漑が稲の生育並びに養分吸収に及ぼす影響について 北海道農試彙報 80 号 : 1—12.
11. 角田公正 1964. 水温と稲の生育・収量との関係に関する実験的研究 農技研報告 A 第 11 号 : 75—174.

12. 村山登・吉田実・大島正男・塚原貞雄・川原崎裕司 1955. 水稻の生育に伴う炭水化物の集積過程に関する研究 農技研報告 B 第4号:123—166.
13. LOOMIS, W.E. 1953. Growth Correlation. In "Growth and Differentiation in Plants" Ed. Loomis, W.E., Iowa State College Press.
14. GORDON, S.A. 1953. Physiology of Hormone Action. In "Growth and Differentiation in Plants" Ed. Loomis, W.E., Iowa State College Press.
15. LEVITT, J. 1972. Responses of Plants to Environmental Stresses. Academic Press. N.Y. and London.

High Temperature Injury of Ripening in Rice Plant

II. Ripening of rice grains when the panicle and straw were separately treated under different temperature

Kanoë SATO and Kengo INABA

(Faculty of Agriculture, Tohoku University, Sendai)

Summary

A japonica rice (var, Norin-17) and two indica rice (var, IR-8 and Boshito) were used to test the effects of temperature treatment separately given to the panicle and the straw including roots upon the ripening and the distribution of assimilates to the both parts. The plots of treatments are indicated as follows: 35/35, 30/35, 35/30, 30/30, 25/25, 20/25, 25/20, 20/20 in 1969 and 35/35, 25/35, 35/25, 25/25°C in 1970. The numerator indicates day-air-temperature around the panicle, and the denominator around the straw, respectively.

The night-temperature is 5°C lower than the respective day-temperature.

1) In the three varieties, 1000-kernel-weight was markedly decreased by high panicle temperature (35°C), but increased by near optimum panicle temperature (20–25°C). Lowering of temperature around the straw was also effective, but not so significant in improving 1000-kernel-weight. The kernels ripened under high panicle temperature became inferior in quality with least normal, but much opaque, chalky, and milky-white kernels.

2) Sol.-N/Prot.-N ratio in the straw was increased when both panicle and straw or straw only were treated at high temperature. The total sugar concentrations and total-sugar/ crude-starch ratios in both panicle and straw were also increased by treating the panicle or straw or both by high temperature, suggesting some physiological abnormality occurred in the plant.

3) The amount of TAC (total available carbohydrate) stored per tiller was greatest at 25/25, being followed in order by 35/25, 25/35, 35/35. Relatively more TAC was translocated and stored in the panicle with the less amount remained in the straw, when the panicle was treated with lower temperature. On the contrary, the total nitrogen accumulation per tiller was greater under higher temperature, greatest at 35/35, being followed by 25/35, 35/25, 25/25 in order. However, when the temperature around panicle was lowered relatively more nitrogen accumulated in the panicle, resulting in less nitrogen in the straw. The high nitrogen accumulation under high temperature was partly caused by new tillers with new roots emerged from higher nodes after about two weeks of treatment.

4) The leading factor which decreased 1000-kernel-weight under high air-temperature was considered to be an early cease of the receiving function of panicle of assimilates from the straw, although the temperature around straw was also effective in changing 1000-kernel-weight.