

暖地水田における水面遮光降温法について

佐藤 正一・船橋 義成

九州農業試験場

SATO, S. and FUNAHASHI, Y. Methods of Lowering the High Temperatures in Paddy Fields by Shutting Off the Solar Radiation Penetrating into Surface-Water in the Warm Region of Japan.

1. 緒 言

九州の平地で通常の梅雨明け後1箇月間、盛夏炎暑の候には稲付直後の晩期栽培や繁茂が限度に達せぬ普通栽培の水田では水温地温の上昇が著しく、これに適當な降温操作を施すことは稲栽培に有益な場合が多い。

降温策で掛流し等の灌漑法によるものは著者の1人、佐藤が1947年より研究してきたが、掛流は用水豊富地以外では実施し難い。故に1953年から別法として水田水面に諸物質を散布して日射の水中透入・田面到達を遮断または制限して明らかな降温現象を認めた。しかし施用した藁、草、赤浮草などには降温以外の面で短所もあつた。

1955年晩期栽培において炭素微粉 Carbon Black (以下CBと略記)を水面散布したところ良好な成績を得たので、次年からは普通栽培にもこれの施用試験を開始した。ここに遮光降温法の機構と、1956年試験の概要を述べる。

2. 水面遮光による水温地温低下の機構

(1) 水田における熱収支

いま条件を単純にするため、日射の全量が水面に当たり、また減水は蒸発のみによる状態、すなわち無栽培

・無滲透の浅い湛水(4~5cm)の水田を取扱う。

この湛水が澄明ならば、日射 I の一部は水面反射 R_W し、他は水層に入り一部が吸収 A_W されるがなおかなり多量が土面に達し、ここで微量の土面反射 R_S を除く大部分は土面に吸収 A_S される。 A_S 中のある部は地中に入り地温上昇 S に費され、他の部は長波輻射 L_r となつて上方に向い、前記 A_W や R_S の一部とともに水温上昇 W と蒸発熱 E に費され、さらに気層への熱伝達(拡散と伝導)及び水面から空間への輻射となる。これら熱伝達と輻射を合して TR とする。すなわち昼間の或る時間については次式が成立つ。

$$\begin{aligned} \sum I &= \sum (R_W + A_W + R_S + A_S) \\ &= \sum (R_W + R_S) + \sum A_W + \sum (L_r + S) \\ &= \sum R_{W,S} + \sum E + \sum W + \sum S + \sum TR \dots\dots\dots ① \end{aligned}$$

夜間は I 、従つて $R_{W,S}$ も零となり、水地層の放熱が E 及び TR の熱源であつて、

$$\sum E(-W - S + E + TR) = 0 \dots\dots\dots ②$$

次に水面が黒色炭粉で完全に覆われた場合は、日射の全量が一たんCB被膜に吸収され、この中の或る量が TR となり、残りが水中に入る C_W でこれが W, S 、及び E の熱源となるとみられるので昼間には次式が成立つ。

$$\sum I = \sum TR + \sum C_W = \sum TR + \sum (E + W + S) \dots\dots\dots ③$$

CB 撒粉区も夜間は②と同様である。

第1表 澄明水区及びCB撒粉区における熱収支計算の1例

(1955年8月8日～9日)

時間 h h	I	澄明水区					CB撒粉区			
		Rws	E	W	S	TR	E	W	S	TR
7~9	66.1	5.4	19.8	19.3	3.9	17.7	20.4	14.6	-0.3	31.4
9~11	115.0	3.9	47.9	18.9	17.0	27.3	55.6	14.7	5.1	39.6
11~13	163.0	5.0	82.6	16.5	25.9	33.0	90.4	19.3	11.1	42.2
13~15	153.3	4.7	85.3	-2.5	24.9	40.9	97.6	-0.3	16.3	39.7
15~17	99.9	4.9	79.2	-12.7	10.7	17.8	73.0	-6.5	13.6	19.8
17~19	27.7	4.8	39.8	-19.2	-5.0	7.3	42.2	-17.4	-0.3	3.2
19~21	—	—	13.4	-7.7	-13.0	7.3	11.6	-9.4	-11.5	9.3
21~23	—	—	9.3	-5.4	-13.0	9.1	7.6	-5.0	-13.2	10.6
23~1	—	—	7.0	-2.7	-12.5	8.2	5.8	-2.9	-12.5	9.6
1~3	—	—	4.7	-2.3	-11.9	9.5	4.1	-2.9	-12.2	11.0
3~5	—	—	4.1	-2.3	-10.9	9.1	3.5	-1.8	-11.6	9.9
5~7	9.6	2.6	8.2	3.0	-8.4	4.2	8.2	3.2	-9.2	7.4
合計	634.6	31.3	401.3	2.9	7.7	191.4	420.0	5.6	-24.7	233.7

(註) 単位: Cal/cm²・2hr

I: 日射量, Rws: 水・地面反射, E: 蒸発熱,
W: 水温昇降熱, S: 地温昇降熱, TR: 熱伝達・輻射合計

以上の基本的過程につき、1955年8月8～9日晴天に九州農試の水田で測定算出した結果の要約が第1表である。

この澄明水区とCB粉区の温度は文献1)に、また上記3式の各熱量算法は文献2)に詳記したので略する。

第1表によれば、澄明水区において水地面反射量は常に小さく、熱取引の主要面は水面でなく土面であり、水温や地温の上昇に実際に費される熱量は案外少く、蒸発熱消費の著しく大なることがわかる(これは寒地暖地どこでも同様な傾向がある)。

それと比較してCB撒粉区をみると、水温上昇熱も小さいが特に地温上昇に使われる熱量は著しく少量である。他方、CB粉面から空間への熱伝達・輻射は澄明水区よりもほとんど常に多く、蒸発熱も1日総計で澄明水区よりも多い。特に日出後から13時頃までのCB粉区の蒸発促進が著しい。

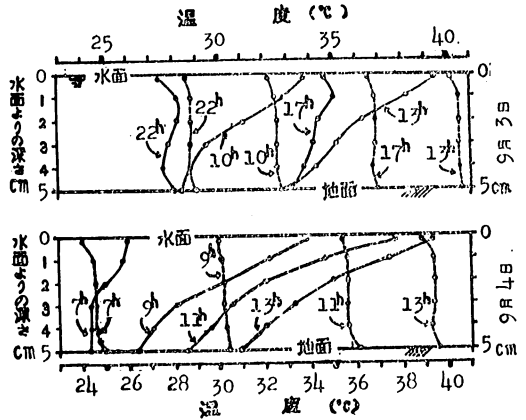
CB粉区水地層の夜間放熱は澄明水区と大差なく、その地温下降熱総計は地温上昇熱総計を大きく上廻る。

以上を総括すれば、CB粉区は水面被膜の所で日射エネルギーの大部分を蒸発熱・熱伝達・輻射として空間に戻し、水地中への熱流を制限し、水地層の放熱は制限せぬため、この方法は明らかな降温策と云える。

(2) 水温の垂直分布

前記の熱収支測定と同じ場において、両区各5cm

湛水の水温を1cm毎に熱電対で測定した。結果の代表的な例を第1図に示す。



第1図 水温の垂直分布

(1955年9月3日、4日)

(註) —: CB撒粉区, ----: 澄明水区

i) 澄明区の水温は常に水面から水底まで大差なく鉛直状分布であるが、CB粉区は水面と水底との温度差が極めて大きい。日出後より13時頃までの受熱優勢時には水面付近は澄明水区よりも高温を示すが、2～1cm以深の水温は澄明区より著しく低温である。

ii) 午後から夜間の放熱優勢時には、CB粉区は水層全体が澄明区よりも低温で、CB粉区の深さごとの水温差は時刻とともに減ずる。

iii) 第1図でCB粉区の水面と水底との温度差の最大

は9月4日11時に9.2°C、水深差1cmにつき3~1°C(平均1.8°)である。同区9月3日の温度傾度が4日より小さいのは撒粉(3日9時)前の土面受光の後影響である。水底温に関して、4日7時にはCB粉区が澄明水区より1°C弱低温に陥るが、同日13時には8.7°C低い(両区水底温の差の最大)。

iv) 水面から地面までの水層平均温度を算出すると、CB粉区も多くの場合にそれは水深中央の温度にほぼ一致する。この水層平均温度に関してCB粉区は澄明水区よりも日最高温出現時には4~5°C低い。

なお水面撒粉でなく水層全体をCBの稀懸濁とすれば、水中に若干の光が入るので水面下1~2cm部位に水温垂直分布の極大が現れ、以下は深さとともに低温となり、水底地中は澄明水区より低温である(図省略)。

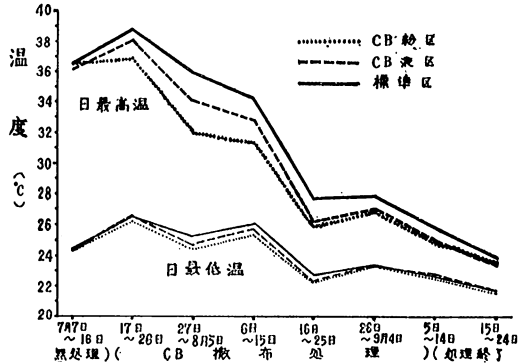
3. 普通栽培における水面遮光の実施経過と結果

1956年7月2日に田植した標準栽培において、梅雨明け後の7月17日以降にCB撒粉、CB懸濁の2種処理区を標準澄明水区と比較した。処理は出穂期までを目標としたが8月後半は連続雨天で処理中断した。2区制、1区20cm²、コンクリートブロック試験区。各区は鋼板で仕切る。稲は農林18号、坪56株植、基肥堆肥300、硫酸6、過石10、塩加4貫/反)、追肥硫酸2、穂肥硫酸1貫/反。遮光用CBは東海電極九州若松工場製で微粉の高比重0.3。撒粉は10gm/m²(=10kg/反)、及び懸濁は5gm/m²を基準施用量とした。

この試験区の栽植畦間水地温を全期間測定した中から、第2図に水底の日最高・最低温の旬平均を掲げる。

処理開始以来7月末頃まで各区の日最高温の差は著しく、特にCB粉区に降温が著しい。日最低温は各区とも大差ない。

8月は稲の繁茂と太陽高度低下のために株間への日



第2図 各区水底温度の季節変化

光射入が減じ、各区間の温度の差も次第に縮小する。

地中温の数値は略したが、10cm深の日最高温が盛夏期にはCB粉区が澄明区よりも2~3°C低く、僅かの差は30cm深にも認められた。かくして形成された地層の低温化は、8月後半雨天の処理中断期や、出穂後の処理終了後にも当分の期間が残つた(詳細は農業気象13巻3号に発表)。

この水面遮光のもたらす著しい現象は降温のほか、なお水層の光線欠乏による雑草発生の防止である。

しかして夏期における前記程度の降温の結果は、それに雑草防止も加わつたと思われるが、遮光処理区において稲の草丈・茎数を増加せしめ、この生育増量は

第2表 7月23日~8月8日の雑草発生量(各区0.75m²の全量)

区		CB粉	CB液	標準
個 体 数 (本)	コナギ	9	18	21
	キカシグサ	37	76	236
	アブノメ	23	16	370
	タマガヤツリ	2	5	104
	ミゾハコベ	26	36	457
	ウリカソ	1	5	6
	アゼナ	0	3	3
	合計	98	159	1,197
乾物重合計 mg		1.31	1.84	23.61

第3表 普通栽培における生育・収量(各区20株平均)

区	生 育 経 過						收 穫 物					
	7月27日		8月11日		9月5日		平均		1株当り			
	草丈	茎数	草丈	茎数	草丈	茎数	稈長	穂長	穂数	穂重	精粒数	稈重
CB粉	55.5	25.8	82.2	26.4	101.0	23.5	86.3	20.6	20.0	44.2	1,330	47.5
CB液	55.6	25.2	80.5	26.3	99.0	22.4	85.9	20.6	19.1	42.0	1,282	46.1
標準	52.7	23.8	74.4	25.6	95.4	20.9	83.6	20.8	16.4	40.5	1,163	41.4

当年出穂以後半月間が著しい不良気象環境であつたにもかかわらず、なお最終的には穂数と1株総粒数の増加による増収をもたらした。

4. 結 び

これまで述べた如く、水面遮光法には原理的に数箇の長所が認められる。これを各地の気候・地力・栽培法などの諸条件と巧妙に組合せるならば、暖地の稲作において一の有望な手段となし得るであろう。遮光用

物料についてはCBに限らず種種探索する必要もあり、またCBにも浮沈性・価格・撒布器などの問題が多い。これらはこんごに研究しなければならぬことである。

文 献

- (1) 佐藤正一：農業気象 12 (1957) 84~86
- (2) 佐藤正一：農業気象 13 (1957) 30~32