

作物におけるエチレンの生理, 生態的研究*

II. 水分ストレスが水稻の生育, 生理に及ぼす影響ならびにそのエチレンとの関係

馬 場 赴

水分ストレス(水分の欠乏)によってエチレンの発生が促進され, 生長の抑制, 落葉, 落花, 老化などが誘致される(Ben-Yehoshua and Eaks 1970, Jordan *et al.* 1972, McMichael *et al.* 1972, Ables 1973, El-Beltagy and Hall 1974).

土壌の乾燥, 水分欠乏のほか, 土壌の湛水処理などでもエチレンの発生が促進され, 生育の抑制, 落葉, 落花, 老化などが誘致される。(Kawase 1974, El-Beltagy and Hall 1974, Michael *et al.* 1975, Jackson and Cambel 1975, Kawase 1976).

著者も考案したエチレンの生物検定法を用いて同様の事実を認めた(馬場 1977).

水稻の水管理技術は栽培技術の重要な構成要素をなしているが, この技術の生理的意義については未だ解明されていない点が少なくない.

本研究では, 水分不足とエチレンとの関係を, 水稻の水管理技術との関連において検討するために実験を行なった.

すなわち水稻の本田初期~中期における排水, 土壌の乾燥処理ならびに苗代期における土壌の乾燥処理(畑苗代育苗)がその後の生育, 生理に及ぼす影響をエチレンの生理の面から研究し, 水稻の水管理技術の意義の一端を明らかにすることができた.

本研究を行なうに当り援助を頂いた酒井慎吾博士および協力された田辺佳代子, 寺岡幸兩氏に感謝する.

実 験 方 法

実験は1975, 76, 77の3カ年にわたり硝子室で行なった.

5月下旬焼粃殻を混じた水田土壌をつめた育苗箱に正条に播種し, 折衷苗代の状態で育てた苗を7月下旬, 水田土壌をつめた5千分の1アールポットに4本植に移植し, 湛水状態で育てた.

苗代様式の実験では, 水田土壌をつめた小型の育苗箱に播種し, 水苗代状態で育てた水苗および畑苗代状態で育てた畑苗を, それぞれ, 水田土壌をつめた5千分の1アールポットに移植し, 湛水状態で育てた.

施肥量は, 化成肥料(15:15:15)を元肥としてポット当たり3g施し, 追肥は8月中下

* 本研究は文部省科学研究費「エチレン等ホルモンのバランス制御から見た米麦等作物の生育および安全多収に関する研究」(代表者馬場赴: 課題番号51年度156012)の一部として行なわれた.

旬に 2 g を施した。必要に応じて穂揃期追肥を 1 g 用いた。実験の一部では、水耕培養法を用い、5 千分の 1 アールポットで既報（馬場 1958, 馬場・酒井 1976）の方法で材料を育てた。供試品種はおもにヤマビコを用いた。

エチレングス処理は、ポットをアクリル樹脂製の密閉ボックスに入れ、これに所定のエチレン濃度になるようにエチレングスを注入した。

気孔開度は isobutyl alcohol と ethylene glycol の混液を用いる浸潤法（馬場・酒井 1975）、単位葉面積当り蒸散量はコバルト紙法（馬場 1958, 馬場・酒井 1975）によった。

葉からのエチレンの発生量は、頂葉（第 1 葉）から第 2～4 葉、成熟期では頂葉（第 1 葉）～第 2 葉の葉身 1.0～2.0 g を用い、発生するエチレン量を既報の生物検定法（検定用のトマト子葉の葉柄の示す上偏生長角度を測定してエチレンの発生程度を表わす方法）（馬場 1977）により求めた。葉の水分含量はエチレン発生量を求めた材料と同じ葉位の材料 1～2 g について、（生体重－乾物重）/乾物重×100 として求めた。

葉の緑色程度は、1: 黄, 2: 黄緑, 3: 淡緑, 4: 緑, 5: 濃緑とした。1 茎当り生存葉数は 1 株最長稈 2 本, 4 株につき求めた。

倒伏抵抗力は、瀬古ら（1957, 58）の方法により、1 株の最長稈 2 本, 2 株を用い、第 3 節間と第 4 節間について長さ（各節以上の部分の長さ cm）×重量（各節以上の部分の重量 g）すなわち曲げモーメント（モーメント）、節間挫折荷重を測定し、これより倒伏指数（曲げモーメント/挫折荷重×100）を算出した。

根の酸化力は、根のアルファナフチールアミン酸化力（ α -NA 酸化力）を測定する方法によった（山田・太田ら 1961）。パーオキシダーゼは既報の方法（馬場・酒井 1976）によった。

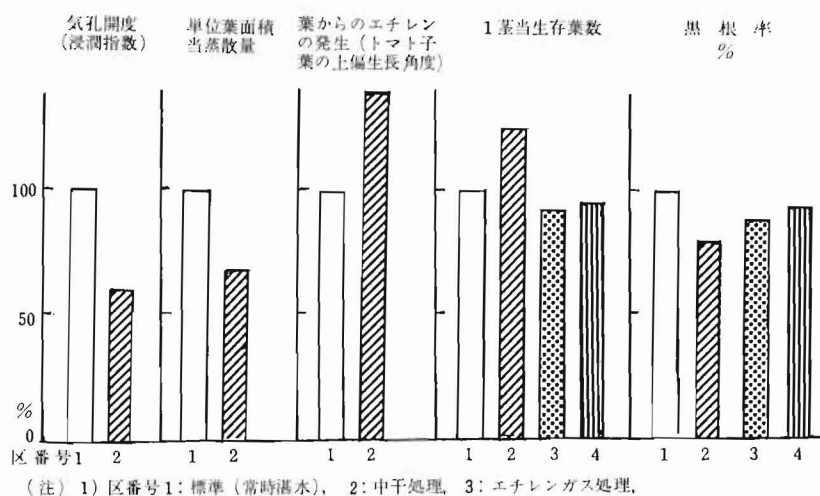
実 験 結 果

1. 中干およびエチレン処理の影響（1975）

5 月 25 日播種し育てた苗を 6 月 25 日ポットに移植し、標準区（常時湛水）、中干（排水）処理区（7 月 20 日～8 月 6 日排水）、エチレングス処理区（7 月 26 日～27 日および 8 月 5～6 日の 2 回、50 ppm のエチレングス 24 時間処理）、エスレル散布区（7 月 26 日、

第 1 表 中干およびエチレン処理が水稻の倒伏抵抗力に及ぼす影響

区 別	第 3 節 間					第 4 節 間				
	長さ (3 節 以上) (cm)	重量 (3 節 以上) (g)	モーメント (g·cm)	挫折荷重 (g)	倒伏指数	長さ (4 節 以上) (cm)	重量 (4 節 以上) (g)	モーメント (g·cm)	挫折荷重 (g)	倒伏指数
	A	B	A×B	C	$A \times B / C \times 100$	A	B	A×B	C	$A \times B / C \times 100$
1. 標準時湛水	46.3	4.29	199	528	37.7	51.7	5.05	261	800	32.6
2. 中干処理	41.0	3.96	162	608	26.7	46.3	4.56	211	767	27.5
3. エチレングス処理	42.7	4.13	176	710	24.8	47.8	4.35	208	850	24.5
4. エスレル 500ppm 処理	40.8	4.35	177	800	22.1	47.6	4.70	224	910	24.6



2) 表中の数値は標準区に対する他区の%

第1図 中干およびエチレン処理の影響

8月6日の2回、500 ppmのエスレルを葉面散布する)の別を設けた。1区3ポット、なお中干区では、排水後土壌が乾燥したら葉が萎凋しない程度に灌水を行なった。

その結果は中干処理すなわち水分ストレスによって処理中に測定した気孔開度および単位葉面積当り蒸散量は処理により減少し、生物検定法で求めた葉からのエチレンの発生も増大した(第1図)。また草丈、各節間長、ことに下部節間長(第3, 4節間長)が短縮し、モーメントの減少、下部節間の挫折荷重の増大で倒伏指数が顕著に減少した(第1, 2表)。

中干処理期間に行なったエチレングス処理およびエスレル散布処理でも中干処理とほぼ同じように草丈、各節間長ことに下部節間長が短縮し、モーメントの減少、下部節間の挫折荷重の増大で倒伏指数が顕著に減少した(第1, 2表)。

太田・中山(1970)は水稻に対するエスレル処理で第1~4節間は短縮したが、第5節間の異常伸長を認めたが、本実験ではこのような異常はみられなかった。

本実験はポット試験で

第2表 中干およびエチレン処理が水稻の節間長に及ぼす影響

区番号	節 間 長 (cm)					計
	1	2	3	4	5	
1	28.9	12.6	8.6	5.9	1.1	57.1
	50.1			7.0		
2	26.8	12.2	8.2	4.4	0.8	52.4
	47.2			5.2		
3	26.2	12.6	7.9	3.9	0.8	51.4
	46.7			4.7		
4	29.3	13.9	7.0	4.2	0.9	55.3
	50.0			5.1		

(注) 区番号は第1表と同じ

あるので、実際の株の倒伏には至らなかったが、倒伏指数の大きい標準区だけでは軽度の倒靡が見られた。

10月17日の収穫期の調査で、1茎当り生存葉数は、中干区が標準区より多かったが、エチレン処理区、エスレル散布区は標準区と差がなかった（第1図）。また黒根の発生は中干区、エチレン処理区、エスレル散布区いずれも標準区よりやや少なかった（第1図）。

2. 本田期の生育各期の排水処理がその後の生育、生理に及ぼす影響ならびにそのエチレンとの関係（1976）

6月26日苗を水田土壌をつめたポットに移植して育てた水稻について、第3表のように標準区（常時湛水）と生育各期の7日間排水する区を設けた。排水期間中は葉が萎凋しない程度に灌水した。

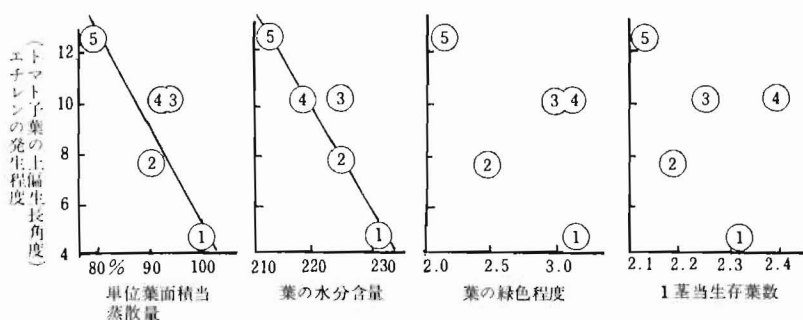
10月2日単位葉面積当り蒸散量、葉（葉身）の水分含量、葉からのエチレンの発生量、葉の緑色程度および1茎当り生存葉数を調査した。

その結果は、第3表のように本田期の初期～中期（No. 2, 3, 4）および後期（No. 5）の排水処理すなわち水分ストレスによって成熟期においても単位葉面積当り蒸散量、葉の水

第3表 本田期の生育各期における排水処理（水分ストレス処理）が
水稻生育、生理および葉からのエチレン発生に及ぼす影響

区 区番号	別 排水期間	単位葉面積 当り蒸散量 (%)	葉の水分含量	葉の緑色程度	1茎当 り生存葉数	葉からのエチレン 発生（トマト子葉 の上偏生長角度）
1	常時湛水	100	231	3.2	2.32	4.7
2	VII 20—27	90.5	225	2.5	2.19	7.7
3	VII 28—VIII 4	93.0	225	3.0	2.25	10.0
4	VIII 5—VIII 12	91.9	219	3.2	2.40	10.0
5	IX 23—IX 30	78.4	213	2.1	2.12	12.7

（注）10月2日調査 検定用トマト子葉の上偏生長角度は10月1～2日（15hr）の測定



（注）1）丸内の数字は第3表の試験区番号

第2図 単位葉面積当り蒸散量、葉の水分含量、葉の緑色程度および
1茎当り生存葉数と葉からのエチレンの発生との関係

分含量の低下および葉からのエチレンの発生の増加、葉の緑色程度の減少および1茎当り生存葉数の減少がもたらされた。

この場合第2図のように葉からのエチレンの発生は、葉の老化と関係が深いと考えられる葉の緑色程度および1茎当り生存葉数の減少とよりは、単位葉面積当り蒸散量および葉の水分含量の減少とより密接な関係が認められた。なお排水処理（水分ストレス）をうけて2カ月以上経過した水稻（No. 2）でも、なお葉面蒸散量および葉の水分含量が少なく、葉からのエチレンの発生が多いことは注目に値する。

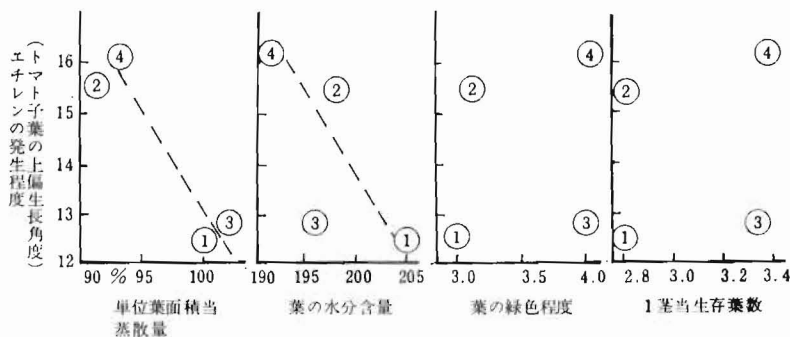
3. 苗代期の土壤水分が本田期の水稲の生育、生理に及ぼす影響ならびにそのエチレンとの関係（1976）

苗代期の水分ストレスの影響をみるために、5月10日播種し、水苗代状態および畑苗代状態で育てた苗を6月28日水田土壌をつめたポットに移植し、その後は湛水状態で育て両苗の本田期における生育、生理の比較を行なった。なおチッソの施用量を異にするチッソ標準量区とチッソ多量区の別を設け、チッソ多量区は、硫酸アンモニアでチッソ量を標準量区の50%増とした。1区3ポット。

出穂後約1カ月経過した9月27、28日に調査した結果、第4表のようにチッソの施用量にかかわらず畑苗代で育てた水稻（畑苗稲）は水苗代で育てた水稻（水苗稲）にくらべて単位葉面積当り蒸散量および葉の水分含量が少なく、葉からのエチレンの発生が多かった。

第4表 水苗稲と畑苗稲における特性の差異

区 別	区番号	単位葉面積 当り蒸散量 (%)	葉の含水量	葉の緑色 程 度	1 茎当生 存 葉 数	葉からのエチレン の発生（トマト子 葉の上偏生長角度）
		IX 27	IX 28	IX 28	IX 28	IX 27~28(18 hr)
チッソ標準量	水苗稲 1	100.0	205	3.0	2.72	12.5
	畑苗稲 2	91.1	198	3.2	2.82	15.7
チッソ多量	水苗稲 3	102.2	196	4.0	3.38	12.7
	畑苗稲 4	94.9	191	4.3	3.42	16.3



（注）丸内の数字は第4表の区番号

第3図 水苗稲と畑苗稲における単位葉面積当り蒸散量、葉の水分含量、葉の緑色程度および1茎当生存葉数と葉からのエチレン発生との関係

この場合第3図のように、葉からのエチレン発生は、葉の緑色程度および1茎当り生存葉数とは関係がないが、単位葉面積当り蒸散量および葉の水分含量の減少と平行する傾向が認められた。

つぎに水分ストレスが葉の形態に及ぼす影響をみるために、水苗稲と畑苗稲につき10月20~22

日止葉(第1葉)および次葉(第2葉)について葉身中央部の裏面をスンプ法でとり、気孔細胞(孔辺細胞、副細胞各2箇で構成される1組の細胞)の大きさと密度を顕微鏡で調査した。その結果は第5表のように、苗代期に水分ストレスをうけた畑苗稲では、うけな

第5表 水苗稲と畑苗稲間における葉の単位葉面積
当気孔数および気孔細胞の大きさの差異

区 別		気孔細胞数 (Olympus 20×20内)	気孔細胞の大きさ (μ)	
多 肥	止 葉	水苗稲	53.0	13.1×7.8
		畑苗稲	65.9	11.3×7.0
	止葉の 次 葉	水苗稲	52.0	13.9×8.8
		畑苗稲	55.4	11.4×7.9
標準肥 止 葉		水苗稲	56.1	
		畑苗稲	67.7	

第6表 水苗稲と畑苗稲の倒伏抵抗力の差異

区 別		第 3 節 間					第 4 節 間				
		長さ (3節 以上) (cm)	重さ (3節 以上) (g)	モーメント (g)	挫折荷重 (g)	倒 伏 指 数	長さ (4節 以上) (cm)	重さ (4節 以上) (g)	モーメント (g)	挫折荷重 (g)	倒 伏 指 数
		A	B	A×B	C	A×B/C ×100	A	B	A×B	C	A×B/C ×100
チッソ 標準量	水苗稲	42.7	4.71	201	818	24.6	48.0	5.05	242	913	26.5
	畑苗稲	41.9	4.50	189	838	22.6	45.7	4.91	224	933	24.0
チッソ 多 量	水苗稲	49.4	6.54	323	682	47.4	54.7	7.32	400	869	46.0
	畑苗稲	49.7	6.57	327	704	46.4	54.5	7.20	392	956	41.0

第7表 水苗稲と畑苗稲の節間長の差異

区 別		節 間 長 (cm)				計
		1	2	3	4	
チッソ 標準量	水苗稲	26.7	13.4	8.1	4.1	52.3
	畑苗稲	26.0	13.0	7.5	3.6	50.1
チッソ 多 量	水苗稲	30.7	15.7	8.7	3.7	58.8
	畑苗稲	31.5	15.5	7.9	3.3	58.2

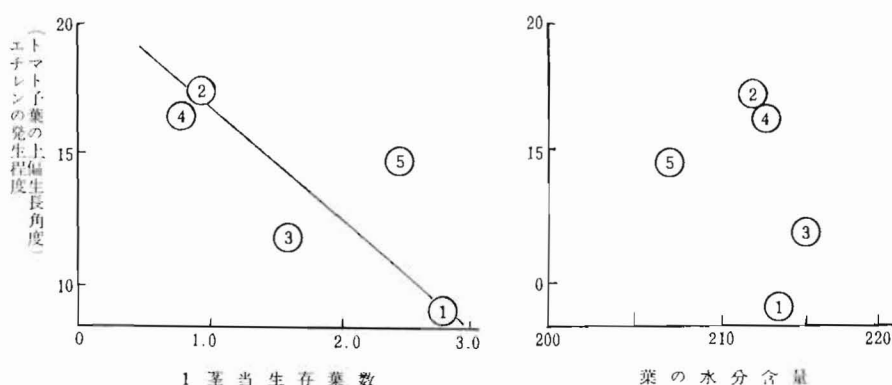
い水苗稲にくらべて気孔細胞の大きさが小さく、顕微鏡の一定視野内の気孔細胞数が多かった。

両苗稲について9月30日、第3,4節間の曲げモーメントおよび挫折荷重を測定した結果、第6,7表のように畑苗稲は水苗稲にくらべて、モーメントに差が少ないが下部節間が短かく挫折荷重が

やや大きくて、倒伏指数が小さいことが認められた。

4. 栄養欠乏が葉からのエチレンの発生に及ぼす影響 ならびに その下葉の枯れ上りとの関係 (1976)

葉からエチレンの発生および生存葉数などに影響を及ぼす要因として栄養欠乏が考えられたので、水耕培養した水稻について、生育の中期以後(7月30日)、チッソ、リン酸、カリ等を欠乏させて育てた材料をつくり、収穫期に近い10月10日に葉からのエチレンの発生量と1茎当り生存葉数および葉の水分含量との関係を調べた。



(注) 1) ①: 標準(N), ②: -P, ③: -K, ④: -N, ⑤: N多量

第4図 栄養条件を異にする場合における生存葉数および葉の水分含量と葉からのエチレンの発生との関係

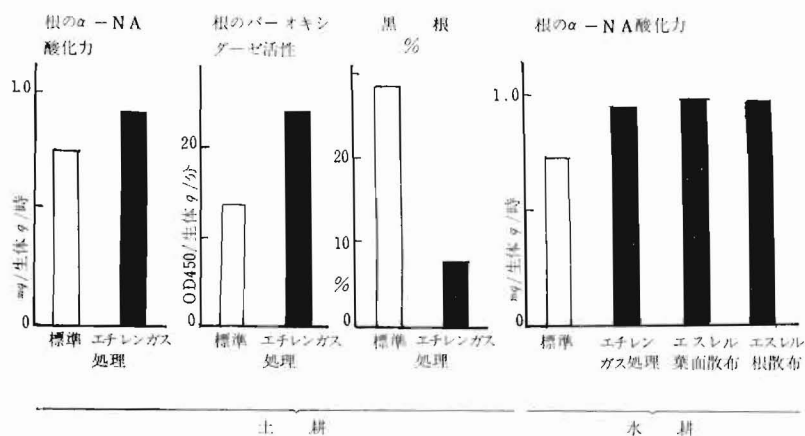
その結果は第4図のように葉からのエチレンの発生程度と1茎当り生存葉数との間には負の相関が認められたが、エチレン発生と葉の水分含量との間には関係が認められなかった。すなわち水分ストレスに差のないこの場合には、エチレンの発生は葉の枯れ上り(老化)とは関係が深い、葉の水分含量とは関係が認められなかった。

5. エチレン処理が水稻の根の酸化力に及ぼす影響 (1976)

前述のように1975年の実験で、中干処理期におけるエチレン処理で黒根の発生が減少することが認められた(第1図)。したがって土壌栽培および水耕栽培した水稻について、エチレンガス処理や茎葉および根に対するエスレル散布が根のアルファナフチールアミン酸化力(α -NA酸化力)におよぼす影響をしらべた。

その結果は、第5図のように土壌ポット栽培の水稻(品種ヤマビコ)におけるエチレンガス(50 ppm)の24時間処理で、根の α -NA酸化力が増加し、黒根の%が減少すること、その際根のパーオキシダーゼ活性が高まることが認められた。

また水耕栽培した水稻(品種金南風)でもエチレンガス(50 ppm)の24時間処理およびエスレルの葉面散布(500 ppm)および根に対する散布(250 ppm)で、根の α -NA酸化力が高まることが判った。



(注) 土耕は9月4～5日エチレングス処理、9月7日測定。水耕は8月28～29日エチレングス処理および8月29日エスレル散布。

第5図 水稻におけるエチレン処理が根のアルファナフチルアミン酸化力、パーオキシダーゼ活性および黒根の発生に及ぼす影響

6. 水稻の生育時期別のエスレル処理が生育、収量および収量構成要素に及ぼす影響 (1976, 77)

6月末に苗を5千分の1アールポットに3本立に移植し育てた水稻について7月下旬～9月上旬の生育各期に凡そ10日の間隔でエスレルを葉面散布した。散布エスレル濃度は1976年は1,000 ppm, 1977年に2,000 ppmである。1区3鉢。

その結果は、第8表のように、稈長、穂長は7月20日頃から幼穂伸長期の8月22日頃

第8表 水稻の生育各期におけるエスレル処理が生育および収量に及ぼす影響 (1976)

年次	区番号	エスレル散布時期 月 日	左 同 出穂前 日 数	稈長 (cm)	穂長 (cm)	精穀重 (g)	穂数	1 穂 穎花数	登熟 歩合 (%)	精穀 500 粒重 (g)
1976	1	—	—	56.4	17.4	24.1	19.3	56.0	89.2	13.6
	2	VII 20	40	54.3	17.3	23.0	19.8	55.8	87.4	13.2
	3	VII 30	30	55.2	14.7	21.5	19.7	45.3	88.7	12.4
	4	VIII 9	20	53.0	15.7	20.1	19.4	48.9	90.4	12.0
	5	VIII 19	10	51.9	17.0	21.1	18.9	53.1	77.7	11.7
	6	IX 1	— 2	56.2	17.3	22.1	17.9	57.3	74.5	12.1
	7	IX 9	— 12	55.9	17.6	22.2	19.0	54.8	82.7	12.4
1977	1	—	—	53.9	18.2	21.2	15.3	52.4	93.7	13.6
	2	VII 22	35	51.2	17.3	17.9	16.7	42.9	88.9	12.5
	3	VIII 2	24	44.3	13.8	14.6	18.7	37.9	83.9	11.2
	4	VIII 12	13	48.0	16.2	15.8	13.5	43.4	81.5	12.0
	5	VIII 22	4	49.6	17.8	18.1	13.0	44.8	78.4	13.1
	6	IX 2	— 8	55.8	18.2	19.1	15.5	51.8	92.0	12.9

までのエスレル処理で短縮した。分けつ数および穂数は分けつ期処理でやや増加した。

収量（1鉢精粒重）は、エスレル濃度の大きい1977年が濃度の小さい1976年より処理による減収が大きかったが、処理時期としては、幼穂分化期（第8表のNo. 3）から出穂開花期の間ことに穎花分化期～減数分裂期（第8表1976, No. 4, 5, 1977, No. 3, 4）処理による減少が大きかった。

すなわち穎花分化期の減収は1穂穎花数の減少と籾500粒重の減少で（1976, No. 4, 第7表No. 3）、減数分裂期の減収は登熟歩合と籾500粒重の減少で減収した（1976 No. 5, 1977のNo. 4）。なお出穂開花期の減収は登熟歩合の減少によった（1976 No. 6, 1977 No. 5）。

第9表 エスレル処理が水稻の節間長に及ぼす影響（1977）

区番号	エスレル散布日の出穂前日数	節 間 長 (cm)				計
		1	2	3	4	
1	—	27.1	14.5	10.6	5.2	57.4
		41.6		15.8		
2	35	23.6	14.5	6.2	4.9	49.2
		38.1		11.1		
4	13	21.7	12.9	9.1	4.0	47.7
		34.6		13.1		
6	— 8	26.5	15.8	9.4	4.8	56.5
		42.3		14.2		

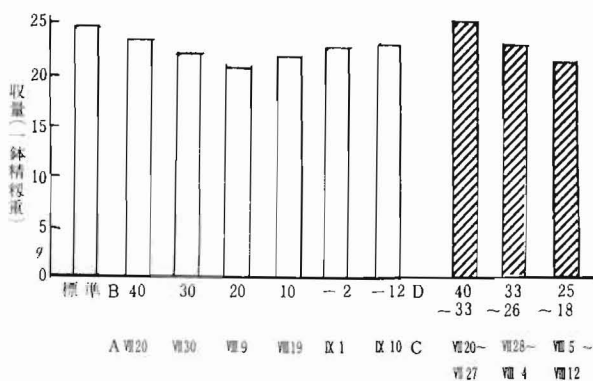
（注）区番号は第8表1977と同じ

第10表 エスレル散布が水稻の倒伏に及ぼす影響

区番号	エスレル散布日の出穂前日数	長さ (4節以上) (cm)	重量 (4節以上) (g)	モーメント (g)	挫折荷重 (g)	倒伏指数
		A	B	A × B	C	A × B / C × 100
1	—	72.6	6.79	49.3	98.3	50.2
2	35	63.3	6.25	39.6	99.5	39.7
4	13	60.5	6.70	40.5	101.5	39.9
6	— 8	67.0	6.33	42.4	104.0	40.8

（注）区番号は第8表1977と同じ

太田・中山（1973）はエスレル処理で、穂首分化期の処理では、第一、第二次枝梗の退化で、減数分裂期の処理では第二次枝梗と穎花の退化と不稔の発生で1穂重の減少が大きいことを認めたが、本実験でも穂首分化期頃（1976 No. 3, 1977 No. 2）では1穂穎花数の減少で減収し、減数分裂期では1穂穎花数、登熟歩合および籾500粒重の減少で減収している（1976 No. 5, 1977 No. 4）から両氏の成績と傾向をほぼ同じくしている。



（注）A：エスレル散布日，B：左同出穂前日数，C：中干期間
D：左同出穂前日数

第6図 水稻の生育時期別エスレル散布および中干処理が収量に及ぼす影響

つぎに 1977 年の実験材料について 10 月 5 日エスレル処理が各節間長および倒伏指数に及ぼす影響を調査したが、その結果は測定した 3 回の時期ともにエスレルにより各節間、ことに下部節間が短縮し（第 9 表）、第 4 節間で測定した モーメント値の減少と挫折荷重の増大で倒伏指数が減少した（第 10 表）。この傾向は 7 月 27 日と 8 月 6 日の 2 回処理した第 1, 2 表の結果と同じ傾向である。

なお 1976 年の実験で生育時期別のエスレル処理と排水処理の収量（1 鉢精収重）を対比すると第 6 図のようにいずれも幼穂分化以後の収量が漸減することが認められる。

考 察

既述のように水分欠乏（水分ストレス）によって植物体からのエチレンの発生が増加することが知られているが、本研究でも中干し（排水）のような葉が萎凋しない程度の土壌の乾燥処理によっても葉からのエチレンの発生の増加が見られ、草丈、稈長、節間長ことに下部節間長の短縮が起こることが認められた。

また本田生育の各期に排水処理した場合、すなわち水分ストレスをうけた場合にも処理時期よりかなりの日数の経過した 10 月初めにおいても、単位葉面積当り蒸散量や葉の水分含量の減少、これと平行しての葉からのエチレンの発生の増大が認められた。

馬場（1955）は、苗代期に畑状態で育った畑苗では湛水状態で育った水苗にくらべて、本田期の末期まで単位葉面積当り蒸散量が減少をきたし、蒸散流で運ばれる珪酸の体内移行が阻害されることを認めたが、本研究でも、チッソ施用量の多少にかかわらず、苗代期に水分ストレスをうけた畑苗稲はうけない水苗稲にくらべて、3 カ月も経過した 9 月末においてもなお単位葉面積当り蒸散量および葉の水分含量の低下ならびにそれと平行して葉からのエチレンの発生量の増加をきたしたことが認められた。

Ben-Yehoshua and Aloï (1974) は Valencia orange の葉を相対湿度 55 % の室におくと、水分ストレスをうけて、飽和水蒸気を含む mist chamber においたものにくらべて葉の水分含量が減少し、葉からのエチレンの発生量も増加するが、これをすぐ再び mist chamber にもどすと葉の水分含量も、葉からのエチレンの発生も元にもどる。しかし葉の relative turgidity（葉の飽水量に対する含水量）が 50~60 %、処理時間 10~20 時間の長い水分ストレスをうけると葉の水分含量も、エチレンの発生も元にもどらない。そしてエチレンの発生と葉の relative turgidity との間に高い負の相関があるという。

一般に植物は乾燥状態に育つと、細胞の大きさの減少や単位葉面積当りの細胞数、気孔数の増加、表皮細胞膜の肥厚などの乾性的形態を示すようになる (Maximov 1925, Boyer 1968, McCree and Davis 1974, Cutler *et al.* 1977)。

本研究でも苗代期に水分ストレスをうけた畑苗はストレスをうけない水苗にくらべて、止葉（頂葉）まで気孔細胞の大きさの減少や単位葉面積当り気孔細胞数の増加のような乾性的形態を示すことが認められた。

以上の諸事実から、苗代期および本田期にうけた乾燥による硬化 (drought hardening) は生育の最後まで影響を及ぼし、乾性的形態や植物体の水分含量や単位葉面積当り蒸散量の減少のような乾燥適応的生理作用を示すようになると考えられる。

Ayerbe and Gomez-Campo (1977) は、ベンケイ草科の一種である *Bryophyllum tubiflorum* の切り離して乾燥させ硬化した Shoot は脱水が少なく、糖含量の増加、表面積/容量の減少を示すが Shoot が硬化処理をうけた時期に分化しなかった仮葉 (phylloides) の始原体も生長してから同じような症徴を示したことを指摘したが、このことと本研究で水分ストレスをうけた苗代期に未だ分化していない止葉が乾性的形態を示したものと符節を同じくしているように思われる。

El-Beltagy and Hall (1974) は *Vicia faba* が土壌の乾燥処理をうけたとき、始めは乾燥に伴って多量のエチレンが発生するが、数日経過すると葉緑素含量の低下に伴う葉の老化の進行に平行して再び多量のエチレンの発生することを認めた。

本研究でも水耕培養した水稻で生育の後期にチッソやカリを欠乏させると、葉の緑色の乾退や下葉の枯上りと平行して葉からのエチレンの発生の増加が認められた。

しかし苗代期や本田期に水分ストレスをうけた場合には、葉からのエチレン発生は葉の緑色程度や1茎当り生存葉数の減少とよりは単位葉面積当り蒸散量や葉の水分含量の減少とより密接な関係のあることが認められた。

したがって生育の初期～中期にうけた水分ストレスの影響が老化の影響よりも大きくなってエチレンの発生量が葉の水分含量や単位葉面積の減少とより密接な関係を示すことになったと推測される。

瀬古 (1962) は中干 (排水) で、宮坂 (1970) は栄養期間の排水処理で、下部節間の伸長の抑制、下部節間の挫折荷重の増大等による倒伏指数の減少を認めた。本研究では、中干、排水処理など本田期にうけた水分ストレスで同様の事実が認められたばかりでなく、苗代期にうけた水分ストレスでもほぼ同様の傾向が認められた。

さらに生育の各期におけるエスレルの散布処理の場合にも同様に下部節間の短縮、曲げモーメントの減少、下部節間挫折荷重の増大による倒伏指数の減少が認められた。

したがってあえて推測がゆるさるならば、生育の初期から中期にうけた水分ストレスによって誘導されたエチレンの発生の増加がしばらくつづき草丈、稈長、節間長の短縮、ひいてはモーメント、節間挫折荷重の増大を誘致して、倒伏抵抗力を増大させることになるとも考えられる。

Ayerbe and Gomez-Campo (1977) は前にふれた *Bryophyllum tubiflorum* の研究で、5 ppm のエスレル処理で硬化の症徴と似た症徴がみられることからエチレンが硬化の仲立ちをする役をはたしているのではないかと考えられると述べている。本研究でも水分ストレス、エチレン、硬化、乾性的形態、乾燥適応的生理作用の獲得との間に一連の関係があることを示唆しているようにも思われる。はたしてエチレンが効果の仲立ちをしているか否かは今後の検討を必要とする問題であろう。

また水稻では穎化分化期から出穂開花期ことに減数分裂期がその前後の時期より干害によわいが (和田ら)、高濃度のエスレル処理でもほぼ同時期が被害によわいが、干害の発現にエチレンがいかように関係しているか否かも今後の検討問題であろう。

湛水状態に適応した水稻は、植物体内に通気組織がよく発達する (山崎 1943) とともに根に二価鉄や α -NA を酸化する力をそなえている (山田・太田 1961, 馬場 1958)。

この水稻の根の酸化力は、呼吸代謝の過程で生成される過酸化水素の存在の下で酵素パーオキシダーゼが働いて生ずるといわれている (山田・太田 1957, Matsunaka 1960)。

一般に作物の湿害抵抗力(耐湿性)とエチレンに対する根の抵抗力との間に関係があり、湿害抵抗力の大きい作物ではエチレンに対する抵抗力が大きいといわれている(Smith and Robertson 1971)。

中山ら(1973)は噴霧栽培中のダイズとトマトの根圏をエチレンガスで処理した場合、ダイズでは根の α -NA酸化力が著しく増大するが、トマトでは著しく低下したことを認め、このことは前者が後者より湿害抵抗力の大きいことと関係があるとした。

本研究でも湿害抵抗力の最も大きい水稻はエチレン処理で根の α -NA酸化力が増大し、黒根の発生が少なくなること、また酸化力の増大に平行して根のパーオキシダーゼ活性が高まることが認められた。

中干(排水)処理により根の α -NA酸化力が増大すること(宮坂 1970)、中干ことに中干後間断灌漑によって根の α -NA酸化力が著しく高まることが知られている(松島 1973)。

したがって中干(排水)の効果の原因の一つとして、中干(排水)による土壌中への酸素の導入、土壌の酸化還元電位の上昇のほかに中干(排水)に伴い水分ストレスをうけた場合のエチレンの発生の増大による根の酸化力の増大も一部関係しているとも考えられよう。

摘 要

土壌水分の制御による生育調節は水稻栽培技術の重要事項の一つである。最近エチレンが水分ストレス等によって生成されて、植物の生長調節に重要な役割を演じていることが明らかにされた。したがって本田期および苗代期における土壌水分の低下が生育、収量にいかなる影響を及ぼすかについてエチレンとの関連において研究を行なうとともに生育時期別のエチレンの影響についても実験を行なった。そのおもな結果は次のようである。なお植物体からのエチレンの発生程度は、著者の考案した、エチレンによるトマト子葉の上偏生長角度測定によるエチレンの生物検定法(Bioassay)によって求めた。

(1) 中干(排水)による水分ストレスにより気孔開度および単位葉面積当り蒸散量の減少ならびに葉からのエチレンの発生の増加が認められた。

(2) 本田期の生育各期に7日間の排水処理(水分ストレス処理)を行なったが、処理後日数の経過した成熟期においても処理により単位葉面積当り蒸散量および葉の水分含量の低下、葉からのエチレンの発生量の増加、葉の緑色程度の減少、1茎当り生存葉数の減少が認められた。そのうち葉からのエチレンの発生量は単位葉面積当り蒸散量および葉の水分含量の減少との間に密接な関係が認められた。

(3) 苗代期に畑状態で育てられて水分ストレスをうけた畑苗は、湛水状態で育てられて水分ストレスをうけない水苗にくらべて、本田期の後期まで単位葉面積当り蒸散量および葉の水分含量が少なく、かつ単位葉面積当り気孔細胞数が多く、気孔細胞の大きさが小さいことが認められた。

これらの現象は、苗代期に水分ストレスをうけた畑苗が硬化(drought hardening)を受け乾燥適応的生理作用と乾性的形態を獲得したことによると推測される。またこのことは水分ストレスの後作用としてエチレンの発生が多くなることとの関連も示唆される。

(4) 本田期の生育各期のエスレル処理(1,000 ppm および 2,000 ppm)と収量(精

粒重) および収量構成要素との関係をしらべ、幼穂分化期から出穂開花期の処理により 1 穂穎花数, 登熟歩合, 500 粒重が減少して減収することが認められた。

(5) 苗代期および本田期の水分ストレス処理およびエチレンまたはエスレル処理によつて同じように草丈, 稈長, 下部節間長, モーメントの減少および下部節間の挫折荷重の増大によって倒伏指数が減少することが認められた。この事実と水分ストレスによるエチレンの発生との関連が推測された。

(6) 水稻の茎葉 および根に対するエチレン処理により根の α -NA 酸化力が増大し, 黒根の発生が減少することが認められた。本田期の排水による根の健全化, 酸化力増大と排水による水分ストレスに伴うエチレンの発生の増加との関係が検討された。

文 献

1. Ables F. B. 1973. Ethylene in plant biology. Academic Press New York.
2. Ayerbe L. and Gomez-Campo C. 1977. Drought hardening in excised shoots of *Bryophyllum tubiflorum* Harv. Ann. Bot. 41: 649-51.
3. 馬場 赴. 1955. 水稻の窒素及び珪酸の栄養生理に関する研究 I. 珪酸の体内移行及び葉身表皮細胞蓄積と蒸散作用との関係. 日作紀 24: 29-33.
4. 馬場 赴. 1958. 水稻の胡麻葉枯病及び秋落の発生機構に関する生理的研究. 農技研報 D7: 1-157.
5. 馬場 赴. 1977. 作物におけるエチレンの生理, 生態的研究 I. トマト子葉葉柄の上偏生長測定によるエチレンの生物検定法とその応用. 農学研究 56: 225-238.
6. 馬場 赴・酒井慎吾. 1975. 作物の大気汚染の発生機構に関する生理的研究. 第 1 報. 土壤水分が作物の亜硫酸ガス被害に及ぼす影響. 農学研究 55: 87-96.
7. 馬場 赴・酒井慎吾. 1976. 第 2 報. 栄養条件および土壤還元が作物の亜硫酸ガス被害に及ぼす影響. 農学研究 55: 189-198.
8. Ben-Yehoshua S. and Aloni B. 1974. Effect of water stress on ethylene production by detached leaves of Valencia orange (*Citrus sinensis* Osbeck). Plant Physiol. 53: 863-865.
9. Ben-Yehoshua S. and Eaks A. I. 1970. Ethylene production and abscission of fruit and leaves of orange. Bot. Gaz. 131: 144-150.
10. Boyer J. B. 1970. Leaf enlargement and sunflower at various water potentials. Plant Physiol. 46: 233-235.
11. Cutler J. M. *et al.* 1977. The importance of cell size in the water relations of plants. Physiol. Plant. 40: 255-260.
12. El-Beltagy, A. S. and Hall M. A. 1974. Effect of water stress upon endogenous ethylene levels in *Vicia faba*. New Phytol. 73: 47-60.
13. Jackson M. B. and Cambell D. J. 1976. Ethylene and water logging effect in tomato. Ann. Appl. Biol. 82: 102-105.
14. Jordoan W. R. *et al.* 1972. Water stress enhances ethylene mediated leaf abscission in cotton. Plant Physiol. 50: 256-258.
15. Kawase M. 1974. Role of ethylene in induction of flooding damage in sunflower. Plant Physiol. 31: 29-38.
16. Kawase M. 1976. Ethylene accumulation in flooded plants. Physiol. Plant. 36: 236-

17. 松島省三, 1957. 水稻収量の成立と予察に関する作物学的研究. 農技研報 A5: 1-271.
18. 松島省三, 1973. 稲作改善と技術: 327-328. 養賢堂, 東京.
19. Matsunaka S. 1960. Studies on the respiratory system of plants. Jour. Biochem. 47: 820-829.
20. Maximov N. A. The plant in relation to water, Leningrad 1925. (English translation by R. H. Yapp London 1929).
21. McCree K. J. and Davis S. D. 1974. Effect of water stress and temperature on leaf size and on size and number of epidermal cells in grain sorghum. Crop. Sci. 14: 751-755.
22. McMichall B. L. *et al.* 1972. An effect of water stress on ethylene production by intact cotton petiole. Plant Physiol. 49: 658-660.
23. Michael B. *et al.* 1975. Movement of ethylene from root to shoots, a factor in the responses of tomato plants to waterlogging soil condition. New. Phyto. 74: 397-406.
24. 宮坂 昭, 1970. 北陸地方の湿田における排水の効果について. 北陸農試報告 12: 1-80.
25. 中山正義・志村 清・太田保夫, 1973. 作物に対するエチレンの生理作用に関する研究. 第4報. 根圏のエチレン処理がトマトおよびダイズの生長に及ぼす影響. 日作紀 42: 49-498.
26. 太田保夫・中山正義, 1970. 作物に対するエチレンの生理作用に関する研究. 第1報. エスレルおよびエチレンが水稻の生育に及ぼす影響. 日作紀 39: 376-382.
27. 瀬古秀生・佐本 啓・鈴木嘉一郎, 1957. 水稻の倒伏に及ぼす二, 三の栽培条件の影響 I. 日作紀 26: 90-92.
28. 瀬古秀生・佐本 啓・鈴木嘉一郎, 1958. 水稻の倒伏に及ぼす二, 三の栽培条件の影響 II. 日作紀 27: 173-176.
29. 瀬古秀生, 水稻の倒伏に関する研究. 1962. 九州農試彙報 7: 419-499.
30. Smith K. A. and Robertson P. D. 1971. Effect of ethylene on root extension of cereals. Nature 234: 148-149.
31. 和田栄太郎・馬場 赴・古谷綱雄, 1945. 水稻生育時期による干害程度の差異について. 農及園 20: 13-14.
32. 山崎 伝, 1952. 畑作物の湿害に関する土壌化学的並びに植物生理学的研究. 農技研報 B1: 1-92.
33. 山田 登・太田保夫・中村 拓, 1961. α -ナフチルアミンによる水稻根の活力診断法 農及園, 36: 1983-1985.