

3 マレーシアにおける水と稲に関する数種の実験と調査

農林省農業技術研究所 松 島 省 三

ま え が き

著者は国連食糧農業機構 (FAO) より個人的に依頼され、1960年4月より1961年12月まで20カ月の間、稲(生理)専門技術者としてマレーシアに駐在し、国立 Soil-Water Research Station の新設、稲・土・水に関する実験、マラヤ稲作技術者の訓練などの仕事に従事した。これらの中で、水と稲との関係について行なった数種の実験と調査の概要を述べる。

I マレーシアにおける水稻作改善の方向

米はマレーシア国民の主食であるのに、 $\frac{2}{3}$ 程度しか自給できない現状である。このため米の増産は大きな国策の一つである。増産上もつとも力を入れていることは、単位面積当りの増産と稲の二期作化である。単位面積当りの増産には、品種改良をはじめとして各種の方途があるが、マレーシアの現状ではかんがい排水の改善がその有力な方法の一つであると考えられ、Soil-Water Research Station の新設の予算が可決されたものである。かんがい排水の改善には、a、多すぎる水に対する対策、b、少ない水のもつとも効果的な利用法、c、普通の状態での理想的かんがい排水法などが問題となる。かんがい排水の改善には土木事業が先行しなければならないので、このために農務省の予算は最も多く用いられ、大規模の事業が進行中である。しかし、他面作物学的な改善の余地も少なくない。特に注意すべき点は、マレーシアには水さえあれば二期作化の可能な面積がきわめて多く、現在二期作の行なわれている面積は4%に過ぎないことである。しかも、Off-season の気象は Main-season より著しくよいので、水のある所では Off-season の方が Main-season より収量の多い場合が少なくない。したがって、少ない水の効率の高い利用方法の研究が二期作化上のもっとも緊急な問題となってくる。

II 試験調査成績概要

1. 旱 バ ッ 試 験

この試験の目的は稲のいかなる生育時期に水分欠乏の影響がもっとも深刻であるかを知り、水不足下でのもっとも効果的なかんがい時期を明示するにあった。供試品種は2種、供試土壌は2種 (Tanjong Karang 土壌, Negri-Sembilan 土壌) で Main-season, Off-season の両季にわたって試験した。試験方法としては、稲の全生育期間を11時期に区分し、各生育時期に早

バツ処理を施した。処理方法は完全に排水して天日で乾燥し、雨天の際はビニールで降雨の影響を遮断し、葉が萎凋し始めてから3日間そのままに放置して、その後再びかん水した。

試験結果は両季節、両品種、両土壌で主要な点はよく一致し、水分欠乏の悪影響がもっとも深刻に現われる時期は花粉母細胞の減数分裂期であった。これに次いで出穂期とえい花分化期に被害が顕著であった。すなわち、減数分裂期を中心とした出穂前20日間と出穂後10日間の合計約30日間がもっとも被害の著しい時期であることがわかった。この原因は主として不受精に基ずく登熟歩合の低下であった。

2. 浸 水 試 験

試験目的は浸水にもっとも深刻に影響される生育時期を明らかにし、排水のもっとも必要な時期を明示するにあった。試験方法は前に類するが、処理方法は次のとおりであった。

- a 全植物体を4日 (Off-season) または5日 (Main-season) 完全に浸水する。
- b 草丈の75%まで8日 (Off-season) または12日 (Main-season) 浸水する。
- c 草丈の50%まで同様に浸水。
- d 草丈の25%まで同様に浸水。
- e 標準 (常時 5cm に湛水)
- f 無湛水、ただし飽和水分に保つ。

試験の結果は前試験と同様に、もっとも深刻な被害は減数分裂期に現われ、次いで出穂期とえい花分化期であった。被害の程度は浸水程度の大きいものほど深刻であり、全植物体浸水と他の処理との間には大差が認められた。特に注意をひいた点は、出穂期に完全に浸水している場合は被害激甚であるのに対し、穂と葉先が水面に出ていれば、見るべき被害の現われなかったことである。有意的減収は重要生育時期の50%以上の浸水の場合のみに見られた。被害原因も前と同様に不受精が主因であった。

3. 要 水 量 試 験

目的は稲体 1gr. の乾物を生産するために何 cc. の水を必要とするかを知り、さらにその要水量の時期的変化を知り配水計画の基礎資料の一つにすることにあった。試験方法は水面蒸発をほぼ完全に防ぐように設計した特殊のポットを用い、毎日植物体からの蒸散量を測定した。

この試験の結果、はじめてマレーシアにおける要水量およびその時期的変化が明らかにされた。要水量は季節、植物体の大きさ、土壌の種類などによる差は概して少なく、主として品種による生育期間の長短による差が決定的であることがわかった。要水量と生育期間との間には、 $r=0.977$ の高い相関が認められ、1gr. の乾物生産にはいずれの場合でも1日当り 5cc の蒸散量を必要とすることがわかった。次の回帰式が求められ、これから品種の生育日数がわかれば、直ちに要水量が算出される。

$$Y = 4.91X + 11.1$$

ここに Y は要水量 cc, X は田植から成熟期までの日数である。

なお、モミ 1gr. を生産するためには早生種で 808cc., 晩生種で 2,504cc. の水を蒸散量として必要とし、晩生種は早生種の約 3 倍量の水を要することとなり、水経済の上からも早生種栽培の有利なことが痛感された。

蒸散量の時期的変化については、10日間毎の蒸散量は活着後から次第に増大し、えい花分化始期頃には peak 時の 70~90% に達し、減数分裂期または出穂期に最大となり、出穂後次第に減少する。この変化は日本における実験結果とおおよそ類似している。

4. 湛水深試験

かんがい水の最適湛水深を知るのが目的であった。試験方法としては、4段階の湛水深 (0, 6, 13, 26cm) について行なった。

この試験結果は、熱帯における最適湛水深はかなり深いだろうという著者の予想に反して、土面が完全に覆われている限り、水深は浅いほどよいことが明らかとなった。この試験では、収量は穂数に左右され、そして水深の浅いほど穂数の多かったことにその原因があると見られた。水深の浅いことは昼夜の水温較差を大きくし、すでに著者が立証したように、これが分けつを促進して穂数増大に役立つものと見られた。また土壌面が空気中に露出された場合は、たとえ土壌が飽和水分に保たれていても、著しい減収を示した理由については土壌および稲体分析の結果から、脱窒に起因すると考えられる。

5. 地下水位の深さの試験

この試験の目的は、稲の生育期間および休閑期間中に、どの程度の高さに地下水位を保つことが増収上に有利であるかを知ることにあつた。試験方法は水位を地表下に 30, 15, 5, 0cm に保つと共に、参考のために 30, 15, 5cm の湛水深を与える区を加えて試験した。

稲の生育していない期間の試験では 2 ケ年とも一定の成績が得られなかったが、生育期間中の成績は次のような整然たる結果となった。すなわち、

- a 湛水の場合には、0cm 以外は水深の浅いほど収量が多い。
- b 水位が地表面下にある場合は、水位が高いほど多収を示した。

すなわち、次の順位となった。湛水 5cm > 湛水 15cm > 湛水 30cm > 湛水 0cm > 地下 5cm > 地下 15cm > 地下 30cm.

6. 節水栽培試験

この試験の目的は収量を犠牲にすることなくどの程度水を節約しうるかを知ることにあつた。試験の構成は次の 9 とおりであり、土壌水分は重量法によって、それぞれの土壌の最大容水量

を基準として毎日調整した。

- a 全期間浅水湛水,
- b 全期間土壌水分100%
- c 全期間土壌水分80%
- d 全期間土壌水分60%
- e 全期間土壌水分40%
- f cと同様ただし重要時期(えい花分化始期から乳熟後期まで)に土壌水分100%とする。
- g dと同様ただし重要時期に土壌水分100%とする。
- h eと同様ただし重要時期に土壌水分100%とする。
- i 間断かんがい(Off-season)または理想的と見られるかんがい(Main-season)。ちなみに、理想的と見られるかんがいとしては、田植後有効分けつ終止期に至るまでは湛水深5cmに保ち、その後えい花分化始期までは排水し乾燥させ、その後黄熟初期まで浅水かんがいにするが、この間も週1日または2日は排水して土壌面を空气中に露出させた。

試験結果は次のとおりであった。1. Off-season(供試土壌はTanjong Karang土壌):全期間浅水区はポット当り94gr.(反当玄米5石)のモミが得られたが、100%水分区はこの80%の収量をあげて47%の水を節約した。水分80%区は58%の収量、水分60%区は著しく減収し、40%区はかろうじて出穂した。しかるに、生育途中で重要時期に土壌水分を100%にした区はいずれも減収の程度が少なく、80%区は70%の収量を得、40%区でさえ63%の収量をあげた上に58%の水を節約した。2. Main season: Tanjong Karang土壌ではOff-seasonとほぼ類似の結果を示したが、特記すべき点は理想的かんがい区では20%の水を節約した上に、常時浅水湛水区よりも6%の増収を得たことである。しかしNegri Sembilan土壌では、常時湛水区は土壌還元が著しく、不稔モミの発生が多くて100%区の方が増収を示し、また理想的かんがい区は51%の増収の上に21%の水を節約した。

以上のほか各種の実験と考察の結果、結論的には収量を犠牲にすることなく、少なくとも現在より30~40%の水を節約し得るものと推定されると共に、15~20%の水を節約してもなおかなり増収を期待できるものと考えられた。

7. 土 壌 乾 燥 試 験

この試験の目的は田植前の休閑中に、どの程度の期間水田を乾すことが次の稲の収量を最大にするかを知ることにあつた。試験方法としては、湿田の土壌を大型ポットに採取して、田植前にそれぞれ次の期間乾燥させた。

- a 3カ月間,
- b 2カ月間,
- c 1カ月間,

d 15日間

e 標準（常時湛水）

試験結果を5%有意水準で判定すれば、標準と15日間乾燥区は共に他の3処理区との間に明らかに差が見られたが、1カ月、2カ月および3カ月の3処理区の間では相互に有意差が認められなかった。この結果から、1カ月間乾燥が最大収量を得る上での必要最短の期間であろうと推定された。土壌の化学分析の結果からも、土壌を乾燥することによってすでに報告されているように²⁾、可溶性窒素が著しく増加することが認められ、これが主として穂数増加に役立ちその結果増収することが実証された。なお、この結果はマレーシア農民の「田植前に4～6週間晴天がつづく」と豊作になる」との言い伝えにも一致すると見られた。

8. 水田の株間水面蒸発量および蒸発散量の時期的変化の調査

Tanjong Karang の水田の株間の水面上に蒸発計 (24.5cm×25.4cm) を置き、稲の生育期間毎日水面蒸発量を測定した。Off-season における水面蒸発量は稲の生育時期によって異なり、初期は平均 0.37cm、中期は 0.22cm、後期は 0.16cm であった。

また、蒸発散計 (0.9m×0.9m×0.6m) を水田の中に設け、この中に普通の栽培密度で9株の稲を植え、蒸発散量を毎日測定した。

この結果、1960年の Off-season では日平均で 0.50cm で、1960～1961年の Main-season では 0.49cm であり、1961年の Off-season では 0.35cm であった。供試した稲の収量は1960年の二期共に10a 当り玄米約 240kg 程度であり、1961年の Off-season には 195kg 程度であった。いま1960年の Off-season の収量を 10a 当り 240kg として必要な蒸散量を前述の要水量試験の結果を利用して計算すると、月平均約 8.38cm となる。また、日平均の株間蒸発量は全生育期間平均すると約 0.25cm であり、これは月平均とすれば約 7.50cm である。したがって、蒸発散量は月平均では $8.38 + 7.50 = 15.88\text{cm}$ となる。他方、1960年の Off-season における月平均の蒸発散量は蒸発散計による実測結果から $0.5\text{cm} \times 30 = 15\text{cm}$ となるから、両者は互によく一致する。

9. 代かき用水量

土壌水分や地下水位が異なり、更に漏水の程度の異なる数枚の水田（各 40a）について、代かき用水量の調査を行なった。

この結果、最大量は表土の土壌水分24%、地下水位 65cm の水田で得られ、262,190ℓ/10aであり、最小量は表土の土壌水分 45%、地下水位 20cm の水田で得られ、107,020ℓ/10a であった。

10. 地下浸透水量の時期的変化の調査

1961年の Off-season に Tanjong Karang Station の水田でその中央に面積約 1m²、深さ

2) 塩入・青峰1940, 青峰1949, 原田1959。

60cm の鉄製タンク（無底）を設け、浸透によって失われる水量を毎日測定した。（10日毎の平均値を算出したが、この中には曇雨天の日を除き、晴天の日のみの値を用いた。）この結果は、7月上旬（田植直後）から9月上旬（成熟期）までの期間では、0.22cm/day から 0.57 cm/day までの変異を示した。この値は水面蒸発量をも含んでいることを考慮すれば、地下浸透量は無視できるほど小さいと思われる。しかし、9月中旬以降になると浸透量は著しく多くなり、0.84cm/day から 1.72cm/day の変異を示すに至る。これは明らかに田面から排水され、かんがい、排水路にも水がなくなる結果である。（稲が成熟期に達すると完全にかんがいが停止される。）したがって、本水田の地下浸透量のかんがい、排水路の水位に強力に支配されると認められるが、この事は多かれ少なかれマレーシア全土の水田についても云えると思われる。

11. 実際の水田の月平均用水量の推定

前述の諸実験や調査の結果ならびに利用できる資料を用いて、著者は実際の水田の用水量を推定してみた。

実際の水田の用水量を次の4つの要素にわけて考えた。a. 代かき用水量、b. 稲体からの蒸散量、c. 株間蒸発量、d. 地下浸透量。aは各種条件の異なる実際の水田の調査から約 17.8cm と推定し、bは前述の試験結果から約 8.4cm とし、cは実際の水田での両季節の毎日の実測から約 7.6cm とし、dは1つの水田での調査があるのみで、水田によって著しく異なると思わ

表-1 年間月別用水量

季 節	期 間	用 水 量 (cm/month)			
		代かき	蒸発散	縦横浸透	合 計
一 期 作 (Off-season)	3月中旬～4月中旬	苗代期間であり、水田全面積の約1/30がかんがいされればよい			
	4月中旬～5月中旬	17.8	10.2	17.8	28.0**
	5月中旬～5月下旬	中 干 し 期 間			
	5月下旬～7月中旬		21.1	17.8	38.9
	7月中旬以降	排 水			
二 期 作 (Main-season)	8月上旬～9月上旬	苗代期間であり、水田全面積の約1/30がかんがいされればよい			
	9月上旬～11月下旬	17.8*	10.2	17.8	28.0**
	11月下旬～12月中旬	中 干 し 期 間			
	12月中旬～2月上旬		21.1	17.8	38.9
	2月上旬以降	排 水			

* 代かき用水であるから、9月上旬～下旬にかけて 17.8cm だけあればよい。

** 代かき用水量を含まず。

れたが、平均的数値を用いて 17.8cm とした。

したがって、代かき用水量を除けば毎月の平均必要水量は次のようになる。

$$8.4\text{cm(蒸散)} + 7.6\text{cm(蒸発)} + 17.8\text{cm(地下浸透量)} = 33.8\text{cm}$$

この結果を基礎として蒸発量および蒸散量の時期的変化を考慮に入れ、マレーシア政府かんがい排水局長の要請に応じて、次のような二期作の場合の年間月別用水量の1つの試案を提出した。(表-1)

12. 水田水温調査

水田水温を気温と共に毎日観測したほか、時折日変化を測定した。旬別平均では最高水温は 37.8°C を越えることはなく、平均水温の最高は 31.1°C であり、雨季以外では水温は気温より高いことが多かった。水温の最高は水稻の生育初期に得られた。また、日変化の場合においても、短期間を除けば常に水温は気温より高い。

日本における著者の実験によれば、水温 30°C で最高収量が得られ、35°C では最高収量のわずか55%しか得られなかった。また、著者の他の実験では、穂首分化期から減数分裂期にかけて 35°C の水温を与えると登熟歩合が著しく低下して収量が激減する。これらの結果からみて、35°C の水温は高温障害をもたらすことが明らかである。

以上の事実から、一般にマレーシアでは高水温による著しい収量低下は珍しいと考えられるが、しかし停滞水の水田とか、土壌状態の悪い水田とか、または稲の生育不良の水田とかでは高水温のために登熟歩合が低下し、収量も減少する場合も少なくないと思われる。

13. その他の試験

試験を開始しながらも、著者離任の時までに完了しえなかった試験に次のようなものがある。

- a 間断かんがい試験
- b 生育各期の最適水深および最適土壌水分試験
- c 畑地状態下での最適かんがい法試験
- d 遮光試験および各地での各月播種移植試験

注； 詳細については，“Some experiments on Soil Water Plant Relationship in Rice”. published by the Ministry of Agriculture and Co-operatives, Federation of Malaya (1962) を参照。