雨と植物反応に関する研究 (I) 乾物生産に対する降雨の影響

木村 和義・田中丸重美

(岡山大学農業生物研究所)

Studies on Plant Response to Rainfall.

(I) Effect of Rainfall on Dry Matter Production of Plant Leaves

Kazuyoshi KIMURA and Shigemi TANAKAMARU

(Institute for Agricultural and Biological Sciences,)
(Okayama University, Kurashiki 710, Japan)

1. 緒 言

我が国の年間降雨日数は地域により異なるが、一般に日降水量1mm以上の降雨日数は100日を越え、0.1mm以上の日数は150日前後である。年間4割の日にいくらかの雨が降っていることになる。

今日、農業気象の研究において取扱われている微気象観測およびそれに関連した作物の生理生態に関する問題は、晴天の日について行われる例が多い。しかし耕地における農業気象という観点から考えると、曇天雨天の微気象およびそれに関連した作物の生理生態の研究を行うことは重要課題である。

雨と作物に関する研究は要水量、土壌水分、冠水害、長雨による穂発芽などについて主として行われてきたが、作物が雨を受けた場合、その生理状態がどのように変化し、影響をうけるかについての基礎的知見はほとんどない。また発芽、生長、開花、結実、休眠などの生長発育現象に対する雨の影響についてもいくらかの観察がなされているが、体系的に研究した例は数少ない。

筆者の一人、木村(1971; 1978)は、すでにサツマイモの葉の長さ、幅、面積が降雨処理により増大することや、花芽形成を誘起する日長効果も雨によって影響をうけ、アサガオの花芽の数を減少し、開花の時期を遅くすることを報告した。

降雨に対する植物反応について、雨による流亡(リーチング)現象と関連して多くの研究がなされている(Tukey, 1970; 木村, 1978)。とくに物質生産に対する雨の影響

に関しては、Dalbro(1955), Tukey(1957), Ruinen(1965)が雨によって、かなりの量の炭水化物が植物体から流亡することを報告しており、またCholodny(1932)は、数種の禾穀作物について、乳熟期における数日の雨によって、穀粒重が20~30%減少することを報告している。

本報告においては、インゲンマメ、サツマイモ、トウモロコシの葉の光合成(乾物生産)に対する降雨(ミスト)の影響について、実験的に検討した結果と降雨時およびミストチェンバーの環境条件について報告する。

2. 実験方法および観測方法

実験材料：インゲンマメ(*Phaseolus vulgaris* L., 品種：山城黒三度菜豆), サツマイモ(*Ipomoea batatas* Lam., 品種：高系14号), トウモロコシ(*Zea mays* L., 品種：Golden cross bantam)を直径15cmの鉢に播種または挿穂し、温室内で育成したものを使用した。インゲンマメは播種後15日目の初生葉(長さ約6cm), サツマイモは挿穂後1ヶ月後の展開葉のうち先端から数え3~4葉位のものを使用し、またトウモロコシは播種後1ヶ月後の植物で展開葉のうち先端から2~3葉位のものを使用した。

乾物生産速度の測定：葉半法により直接測定する方法(Nomoto and Saeki, 1969)を使用した。葉からの転流を一時停止させるため、葉柄または葉身基部を吸入器の蒸気で加熱して殺した後、一定時間前後の単位面積当り葉乾物重の変化を測定して純同化量を算出した。1区当り100cm²前後の葉を採取し、直ちに自動面積計(林電工製)を用いて、葉面積を正確に測定した。また、葉乾物重は、熱風乾燥器を使って80℃で24時間乾燥させ

昭和54年4月3日 全国大会にて発表

昭和55年7月28日 受理

て測定した。

環境測定：日射量は農試電試型日射計(中野製作所製)、雨量は貯水型自記雨量計(服部時計店製)を使用し、観測期間中、時間ごとの値を求めた。照度については、LMT社製 Illuminance-Meter “pocket-lux”を使用し、光の波長分布の測定には ISCO Spectroradiometerにより、各波長ごとにそのエネルギー量を算出した。ミストチェンバーにおける気温、湿度は葉面と同じ高さにおいて、上部に輻射カバーの付いた熱電対を設置し、また葉温については葉の裏面に熱電対を付着させ、測定を行った。

3. 実験および観測結果

3.1 雨の日の乾物生産

雨の日における乾物生産速度を知るため、降雨日の10～14時までの4時間、屋外において、降雨区と降雨遮断区(透明プラスチック屋根を付けたもの)を設け、両者の乾物生産量を比較した(Table 1)。

これらの実験は処理日が異なるため、それぞれの作物の種類による反応の違いは比較できないが、供試3作物とも降雨区と降雨遮断区とでは、はっきりと差異がみられる。両区の実験期間中の照度を比較すると、降雨区の方が降雨遮断区よりも1割程度明るかったにもかかわらず、乾物生産速度は、降雨区では降雨遮断区と比較して30～50%低い値を示している。これらの事実は降雨によって葉における乾物生産速度が低下することを示している。

3.2 雨量と日射量との関係

作物に対する雨の影響について実験的解析を行うのに必要な基礎的資料を得るため、降雨日の雨量と日射量の関係について検討した。岡山大学農業生物研究所露場

Fig. 1. Relation between precipitation and solar radiation at 11:00–13:00 on rainy days at Kurashiki ($35^{\circ}34'$ N.L.). Precipitation (mm/hr) and solar radiation (cal/cm²/hr) in each time of the year were given as the average for ten years 1969–1978.

○ : May, Jun, Jul. △ : Feb, Mar, Apr.
▲ : Aug, Sep, Oct. ● : Nov, Dec, Jan.

(北緯 $34^{\circ}35'$)における10ヶ年(1969～1978年)の気象観測資料から、日日射量の最も高い時間帯である11時から13時までの間で、雨の降った日の日射量と雨量との関係について検討した結果をFig. 1に示してある。

実際には雨が多くても明るい場合と暗い場合があるが、平均すると、一般に雨量が少ない場合には日射量を多く、雨量が多い場合には日射量が少ない傾向がある。また太陽高度の高い5, 6, 7月においては、当然のことながら、他の月よりも多く、11, 12, 1月では少ない傾向がみら

Table 1. Dry matter production of plant leaves on rainy days. Plants were exposed to rainfall for 4 hours (10:00–14:00), and dry matter accumulation was determined by the improved half-leaf method proposed by Nomoto & Saeki. The rate of dry matter production was calculated as dry weight increments per unit area of two or eight similar leaves. Controls were covered with a clear roof as a protection from rainfall.

Date	Precipitation (mm/hr)	Solar radiation (cal/cm ² /hr)	Mean air temperature (°C)	Plant species	Treatment	Dry matter production	
						Rate (mg/dm ² /hr)	Increase(%) during 4 hr
May 21	2.9	5.9	17.5	Maize	Cont. Rain	2.1 0.6	5.7 1.3
June 27	9.0	3.5	19.0	Maize	Cont. Rain	4.2 3.2	7.4 6.7
				Kidney bean	Cont. Rain	3.1 1.5	8.9 4.3
July 17	0.6	16.0	22.8	Sweet potato	Cont. Rain	9.9 6.8	19.7 13.3

Fig. 2. Relation between solar radiation and illumination intensity on rainy days. These measurements were made at 11:00–13:00 on July 1–2 at the observation field.

れる。例えば雨量 2 mm/hr のとき、5, 6, 7 月で約 12 cal/cm²/hr, 2, 3, 4, 8, 9, 10 月において約 8 cal/cm²/hr, 11, 12, 1 月で約 5 cal/cm²/hr の程度である。

露場において、7 月 1, 2 日の 11 時から 13 時までの間、降雨時の日射量と照度とを同時測定し、その両者の関係を示したのが Fig. 2 である。

この関係は当然のことながら、直線関係にあり、正の相関がみられる。すなわち 1 時間平均照度 (klux) は時間当たり日射量の数値 (cal/cm²/hr) の約 1.5 倍である。

以上のような関係から 11–13 時までの日日射量の最も高い時間帯において、雨量 2 mm/hr のときの照度は、5, 6, 7 月約 18 klux, 2, 3, 4, 8, 9, 10 月約 12 klux, 11, 12, 1 月約 7.5 klux であると推定される。

Fig. 3. Effect of water mist treatment on intensity and quality of light in the growth chamber. Intensity and quality of illumination from daylight fluorescent lamps (National realux lamp, FL20 EDL-50) were measured in the chamber with no mist or misting conditions.

3.3 乾物生産に対するミストの影響

i) 人工降雨実験装置(ミストチェンバー)

屋外の降雨日の実験においては、季節や日によって、日射量、雨量、湿度などが異なり、また、実験期間中、短時間の間にそれらの条件は変動する。そのため雨の影響を明確に比較検討することは困難である。そこで実際の雨の日を想定して、雨量、温度、照度とある程度制御できる装置を用いて実験を行った。この装置の室内の広さは、60×70×80 cm であり、降雨装置は別設タンクで温度制御された水(水道水)が室内上部に設けたノズルからミストできるように設計されている。ミスト状態における水滴径の平均は 0.24 mm であり、水滴の面積当たりの密度は 38 個/cm²/sec であった。なお、ミスト水量は 10 mm/hr であった。室内風速は約 0.3 m/sec で床面吹き出し方式を採用している。光源として、高忠実自然昼白色蛍光灯(ナショナル、リアルックスランプ FL 20 EDL-50)を使用し、照度 0–8.5 klux の範囲で調節出来るものである。さらに光の照射時間、降雨処理時間はタイマーで設定出来る。

ii) ミストチェンバー内ミスト処理時の環境条件

a) ミスト処理条件下における光環境

降雨(ミスト)処理中におけるチェンバー内中央、光源下 40 cm の照度および光の波長別エネルギーを測定し、無降雨区の光条件と比較した。ミストチェンバー内に測定器を置き、まず無降雨状態の照度および光の波長別エネルギーを測定し、直ちに降雨処理を開始し、10 分後処理を継続しながら、降雨状態における上述の条件を測定した (Fig. 3)。

測定結果は、降雨区、無降雨区の照度にはほとんど差異がなく、光の波長別エネルギー測定でも両区ともほとんど変わらないが、450～600 nmの波長域で降雨区がわずかながら(1～2%)低くなる傾向がみられた。以上のように光の強さ、波長別エネルギーについてはほとんど変わらない傾向であり、両区の差による作物の生理現象に対する影響はほとんどないと考えられる。

b) 気温、葉温、湿度

ミストチェンバーにおける2時間のミスト処理期間中およびその前後の気温、葉温、湿度の変化を測定したのがFig. 4である。この装置は冷凍機とヒーターとを用いて室内を一定温度、湿度に制御している。

本観測において、気温 20℃、ミスト水温 20℃、光の強さ 8 kluxに設定され、ミスト開始前において室内気温は $20 \pm 0.5^\circ\text{C}$ で4～5分のサイクルで変動している。葉温は気温よりも1.0～1.5℃高く、温度変動の幅は気温よりも小さくなっている。

ミスト処理を開始すると、1分後に一時的に気温、葉温とも約2℃低下するが、4～5分後には20℃前後の温度に制御された。ミスト開始前における葉気温差は、ミスト状態ではほとんどなくなり、葉温は気温の変動と同じような経過を示した。ミスト処理終了後、15分間の気温はミスト期間中より約0.5℃低い温度で経過するが、葉温は徐々に上昇する傾向がみられた。

本装置においては、ミスト処理中、湿度の制御が不可能である。ミスト処理による湿度の変化を測定した結果、ミスト処理前、約65%であったものが、ミスト直後急激に上昇し、92～93%になり、2時間の処理終了直前にお

いて95%以上に達した。ミスト停止後においても、この装置では直ちにミスト前の湿度の状態にもどらず、完全に元の状態にかえるには2時間程度必要であった。

以上のように、ミストチェンバーにおける環境条件測定結果から、降雨区において、無降雨区と比較して照度、光の波長別エネルギー、気温についてはほとんど変わらず、葉温についても約1℃低い程度であった。降雨処理による気温、葉温、光の変化は光合成反応に大きな影響を与える程度のものでないと考えられる。

iii) ミストチェンバー内実験

上述のごとき環境条件において、トウモロコシ、サツマイモ、インゲンマメを使って降雨区と無降雨区の乾物生産速度を比較検討した(Fig. 5)。

3作物は温室内で生育したもので、トウモロコシについては6～7月、サツマイモでは8～9月、インゲンマメについては10～11月にミストチェンバー内に持ち込み実験に供試した。10時から16時までの6時間、トウモロコシ、サツマイモでは25℃、インゲンマメでは20℃の室温において、降雨(ミスト)処理し、乾物生産速度を各種照度で測定し比較検討した。その際ミスト水温も室温と同一にした。

乾物生産速度は3作物とも照度が高くなるにつれて増大するが、降雨処理によって、各照度とも無降雨区より低い値を示した。種々の光強度に対する乾物生産速度の反応曲線から推察すると、光補償点はトウモロコシで約1 klux、サツマイモ、インゲンマメで約1.5 kluxであった。しかし降雨処理によって、光補償点は上昇し、それぞれ2 klux、2.5 klux、となった。

Fig. 4. Effect of water mist treatment on air temperature, relative humidity and leaf temperature of sweet potato in the growth chamber. These measurements were made preceding, during and following 2-hr mist treatment.

———— Air temperature, leaf temperature, ----- Relative humidity

Fig. 5. Effect of mist treatment on dry matter production of plant leaves at various intensity of light in the growth chamber. Plants were exposed to mist treatment for 6 hours (10:00–16:00), and dry matter accumulation was measured by the improved half-leaf method proposed by Nomoto & Saeki.

○ : Control ● : Mist treatment

上述の光補償点以上の照度において、サツマイモ、インゲンマメの場合、降雨区は無降雨区の半分以下の乾物生産速度を示したが、トウモロコシにおいては、降雨処理による減少の程度が小さい傾向があった。光補償点以下の光の強さにおいては、当然マイナスの乾物生産であるが、降雨処理区における乾物生産が無降雨区よりも低い値を示した。また、暗黒中でも降雨処理区は無降雨区よりも低い値を示した。この場合、降雨処理は直接光合成作用に関係しないと考えられるので、暗黒中の乾物生産の低下は処理前生産された同化産物の流亡が原因ではないかと考えられる。

4. 考 察

光合成、物質生産を決定する環境要因として、光、温度、CO₂濃度、風速などが知られており、それらの影響については従来多くの研究がなされてきた。しかし雨と植物の物質生産との関係についてはほとんど研究がなされていない。

本実験における3種の作物は、降雨処理したものと降雨処理しないものにおいて、乾物生産速度に差異がみられ、降雨(ミスト)処理した場合、その値は50～60%程度まで低下し、また光補償点も高い値を示した。

実験に使用したミストチェンバー内の環境を測定した結果、ミスト処理中における光量、光質は無降雨区と比較してほとんど変わらず、また気温もほとんど変わらない。葉温については約1℃低くなった。しかし湿度はミスト処理前約65%がミスト処理により95%まで上昇した。

本実験のミスト処理終了時の対生量葉含水量を実測し

た結果、トウモロコシにおいて無降雨区(C) : 77.8%, 降雨区(M) : 78.6%, サイマイモC : 78.1%, M : 79.5%, インゲンマメC : 85.8%, M : 86.8%であり、降雨区と無降雨区では1%前後の差しかなかった。武田ら(1978)は光合成と湿度との関係について、葉含水量が十分多く、他の要因が同一であれば、極端な乾燥状態にならぬかぎり影響が小さいことを報告しており、本実験でのミスト処理による湿度上昇は大きい、この範囲の湿度および葉含水量の変化では乾物生産に対する直接の影響は少ないと考えられる。

以上のような観測およびその結果の検討から、ミストチェンバー内実験における降雨による諸環境要因の変化は小さく、またそれらの変化は物質生産に直接影響するものではないと考えられる。したがって降雨による乾物生産速度の低下の原因として、降雨水が葉に接したことによって起る直接の影響が考えられる。

まず降雨による気孔の状態の変化が考えられる。この点に関しての研究報告はほとんどないため、詳細は不明である。Monzi (1937)はヤツデの葉の気孔が降雨処理により一時的に閉じるが、また徐々に開くことを報告している。また筆者らはインゲンマメ葉の気孔開度は降雨処理によってほとんど変化しないことを観察している(未発表)。このような観察から、降雨は気孔開度にそれほど大きな影響をおよぼすものではないが、しかしながら雨水が気孔をふさぐことによって、気孔におけるガス交換が阻害されることが十分考えられる。次に葉からの種々の物質の雨による流亡(リーチング)が考えられる。この点に関しては若干の報告がみられる。Dalbro (1955)

はリンゴの葉から年間 800 kg/ha の炭水化物が降雨により流亡すること、また Ruinen (1965) は 4 時間の降雨によってコーヒーの葉から 0.74 kg/ha の炭水化物が流亡することを報告し、さらに Tukey (1970) はインゲンマメでは 24 時間の雨で葉の乾物重の 48% が流亡することを報告している。

このような研究報告などから推察すると、本実験における降雨による乾物生産量の低下の主な原因として次の二つのことが考えられる。一つは葉面が雨水によって覆われ、気孔がふさがれることになるため、たとえ気孔が閉じなくても、葉と外部とのガス交換が抑えられ、光合成量が低下すること。もう一つは降水による同化生産物の流亡によって乾物の増加がおさえられることが考えられる。しかしその詳細については未だ降雨時の作物体内の生理状態などに不明の点が多く、今後の検討に待ちたい。

いずれにせよ、降雨またはミスト処理によって、葉の乾物生産量が低下するという結果は、ミスト栽培、雨よけ栽培、渇水管理、多雨被害や植物生態に関し、基礎的データを与え、興味ある問題を提起していると考えられる。

5. 摘 要

降雨と作物の物質生産との関係について、基礎的知見を得るため、インゲンマメ、サツマイモ、トウモロコシの葉の乾物生産に対する降雨(ミスト)の影響について実験的に検討を行った。

1) 雨の日、屋外において降雨区と降雨遮断区を設け、乾物生産速度を比較した結果、降雨区では 1 割程度明るいにもかかわらず、乾物生産速度が低く、降雨遮断区と比較して 3 作物とも 30~50% の減少を示した。

2) 倉敷における降雨日の 11~13 時までの時間当日射量と雨量との関係について、1969~1978 年の 10 ケ年の平均値について検討した結果、雨量強度 2 mm/hr のとき、5, 6, 7 月で約 12 cal/cm²/hr、2, 3, 4, 8, 9, 10 月で約 8 cal/cm²/hr、11, 12, 1 月で約 5 cal/cm²/hr の程度であった。これは照度に換算すると、それぞれ時間平均約 18, 12, 7.5 klux に相当した。

3) 気温、光の強さ (0~8 klux) などを制御できるミストチェンバー内において、降雨(ミスト)処理区と無降雨区での乾物生産速度を検討した結果、0~8 klux の各照度で降雨(ミスト)処理によって乾物生産速度は減少する。サツマイモ、インゲンマメの場合、降雨処理区は無処理区の半分以下の値を示し、トウモロコシでは降雨に

よる減少の程度が少ない傾向がある。また乾物生産速度からみた光補償点は、無処理区で 3 作物とも 1~1.5 klux 前後であるに対し、降雨処理区では 2~2.5 klux と高い値を示した。

4) ミストチェンバーにおける環境条件の観測から、降雨処理による環境要因の変化の程度は少なく、雨による乾物生産の低下の原因は外的環境条件の変化の影響よりも雨が直接葉に接したために起る影響が大きいと考えられた。すなわち葉が雨によって気孔がふさがれることによって葉と外部とのガス交換が抑えられ、光合成量が低下することと降水による炭水化物の流亡が主な原因ではないかと推察された。

謝辞：本研究にあたって材料植物の栽培及び実験に協力いただいた則武起夫、木元栄子の両氏に謝意を表する。

引用文献

- 1) Cholodny, N., 1932: Zur Kenntnis der durch das regnerische Wetter verursachten Ertragsabnahme bei Getreidearten. *Ber. Deut. Bot. Ges.*, **50**, 562-570.
- 2) Dalbro, S., 1955: Leaching of nutrients from apple foliage. *Proc. XIV. Int. Hort. Congr.*, 770-778.
- 3) Kimura, K. and Tukey, H. B. Jr., 1971: Influence of mist on floral initiation of *Pharbitis nil*. *Ber. Ohara Inst. landw. Biol. Okayama Univ.*, **15**, 61-67.
- 4) 木村和義, 1978: 雨と植物リーチングを中心として一, *農業気象*, **34**, 23-30.
- 5) Monzi, M., 1937: Beeinflussung der Spaltöffnungs werte durch Regenfall. *Jap. J. Bot.*, **9**, 131-141.
- 6) Nomoto, N. and Saeki, T., 1969: Dry matter accumulation in sunflower and maize leaves as measured by a improved half-leaf method. *Bot. Mag. Tokyo*, **82**, 20-27.
- 7) Ruinen, J., 1965: The phyllosphere III. Nitrogen fixation in the phyllosphere. *Plant and Soil*, **22**, 375-394.
- 8) 武田友四郎, 杉本秀樹, 縣 和一, 1978: 作物の物質生産と水, 第 1 報 トウモロコシ葉における光合成と蒸散との関係, *日作紀*, **47**, 82-89.
- 9) Tukey, H. B. Jr., 1970: The leaching of substances from plants. *Ann. Rev. Plant Physiol.*, **21**, 304-324.
- 10) Tukey, H. B. Jr., Wittwer, S. H. and Tukey, H. B., 1957: Leaching of carbohydrates from plant foliage as related to light intensity. *Science*, **126**, 120-121.

Summary

Effect of rainfall (mist) on dry matter production in the leaves of kidney bean (*Phaseolus vulgaris* L.), sweet potato (*Ipomoea batatas* Lam.) and maize (*Zea mays* L.) was investigated. The rate of dry matter accumulation was measured by using the improved half-leaf method. The results were as follows.

1) On rainy days, dry matter accumulation rates of these crops exposed to rainfall showed 30–50% lower values as compared with those of crops protected from rain by a plastic roof, though the light intensity in the former was greater 10% than that in the latter.

2) The mist treatment in growth chamber also decreased the rates of dry matter accumulation of crop leaves. The effect of mist treatment was rather smaller on maize than on kidney bean or sweet potato. From the response curves of accumulation rates to various intensities of light, it was noticed that light compensation point of these crops was about 1000–1500 lux, but it became higher up to 2000–2500 lux with mist treatment.

3) The effects of mist treatment on environmental factors such as air- and leaf-temperature and light intensity in the growth chamber were markedly small. Therefore, it can be considered that the effect on dry matter production rate is apparently an effect of rainfall (mist) itself rather than an effect of environmental conditions produced by mist treatment.

Two reasons may be suggested to explain these phenomena. First, the layer of rain water on the leaf surface prevents the exchange of gases, and the photosynthetic activity of the leaf is suppressed. Second, carbohydrates may be leached from leaves by rainfall.