

ロックウール・ポット水耕装置によるトウモロコシ栽培について*

窪田 文武・田中 典幸**・有馬 進**・牧山 繁生***

(九州大学農学部・**佐賀大学農学部・***佐賀県庁)

平成 2 年 4 月 25 日受理

要 旨: 根系処理に対する植物体の生育反応を観察、測定するための実験手法としてロックウール・ポット水耕装置を創出した。本装置は、ロックウール・ブロックを挿入した鉄製ポットと水耕液槽から成る。ポットの水耕液槽への着脱は容易であり、また、植物体もポットごと容易に移動できる。ここでは、水耕液に木村氏 A 液を使用し、トウモロコシの栽培実験を試みた。発芽後 10 日を過ぎると葉の黄化現象がみられたが、水耕液の Mn 濃度を 50 mg/l, pH を 5.5 に維持すると葉色および光合成速度に急速な回復が認められ、その後、植物体は登熟期まで順調に生育した。ロックウール・ポット内に設けた気相部から根は適度な酸素供給を受けるため、酸素欠乏による生育遅延、障害は発生しなかった。ロックウール・ポット水耕装置は多くの作物に適用することが可能であり、種々の実験条件下における地上部と地下部生長の機能的相互関係を解明するための有用の実験手法となり得る。

キーワード: 水耕栽培, トウモロコシ, pH, マンガン, ロックウール。

On the Experimental Cultivation of Corn (*Zea mays* L.) Plants by Rockwool Pot Water Culture System: Fumitake KUBOTA Noriyuki TANAKA**, Susumu ARIMA** and Sigeo MAKIYAMA*** (*Fac. Agric. Kyushu Univ., Hakozaki, Higashiku, Fukuoka 812, Japan*; ***Fac. Agric. Saga Univ., Honjou, Saga 840, Japan* and ****Saga Pref. Office, Jounai, Saga 840, Japan*)

Abstract: Rockwool pot water culture system was devised as an experimental technique to observe and measure the growth responses of plants to various treatments imposed on the roots. This system is composed of the steel pot in which rockwool block is placed and the culture solution container. The pot can be readily attached to and detached from the solution container, and it is easy to move plants grown in the pot. In this experiment, corn plant cultivation was tested using the Kimura's A solution. The leaf began to etiolate about ten days after the germination. However, by keeping Mn concentration in the solution at 50 mg/l and pH at 5.5, the rapid recovery was found in the leaf color and photosynthetic rate, thereafter plants grew normally to the maturation stage. Abnormality of plant grown caused by O₂ deficits in the solution was not found because O₂ was adequately supplied to the roots through the aerial space made in the rockwool pot. The rockwool pot water culture system can be readily applied to the cultivation of many other crops and become a useful and convenient experimental technique to examine the functional interrelationship between root and shoot growth under various experimental conditions.

Key words: Corn, Leaf color, Manganese, pH, Rockwool, Water culture.

筆者らは、これまで作物の根系形成や地下部と地上部の相対生長等について研究を進めてきたが、この間、土壌栽培した作物の根系観察や地下部への処理効果の把握に困難を感じることも多々あった。また、従来の水耕法で畑作物を栽培した場合、酸素欠乏やこれにともなう Mn 等の微量元素の欠乏症状の発生がみられ^{1,3)}、実験上の支障となることも数多く経験してきた。

ここでは、上記問題を解決し、しかも簡便に作物栽培実験に使用できるロックウール・ポット水耕装置を考案、作製した。本水耕栽培装置の有用性を実証するため、トウモロコシを栽培し、2, 3 の処理に対する生育反応を解析した。

材料と方法

トウモロコシ早生品種, JX 77, を供試材料として佐賀大学部ガラス室内でロックウール・ポット水耕装置による栽培を行った。実験期間は 1987 年 7 月から 9 月までの 3 カ月間である。

1. ロックウール・ポット水耕栽培装置

ロックウール・ポットの構造を第 1 図に示した。ポットの作製材料にはトタン板を使用した。ポットは、高さ 12 cm, 面積 10 cm×10 cm の筒型容器である。容器の中間の位置 (高さ 6 cm) の内側にアルミ製の針金 (直径 1 mm) を 2 cm 幅で 4 例に張り、中底とした。ポットの上からロックウールブロック (5 cm×10 cm×10 cm) を挿入し、中底上に固定した。ポットの外側、高さ 6 cm の位置に L 字型トタン板を接着し、ポットを水耕液槽上の設置

* 大要は第 186 回講演会 (昭和 63 年 10 月) において発表。

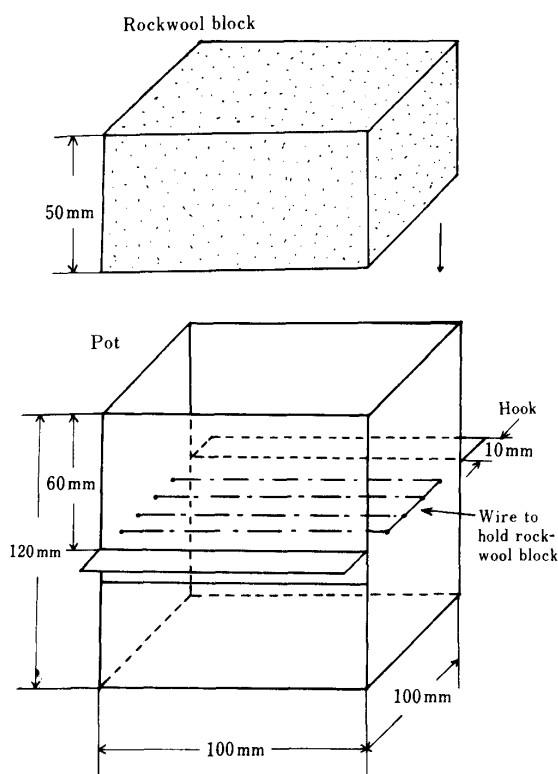


Fig. 1. Design of the rockwool pot. The pot is steel made and coated with chemicals proof paint.

するための止め具とした。ポット表面を耐薬性の白色塗料で保護し、水耕液とトタン板との接触によって化学反応が生じないように処置した。

水耕液槽には実験目的に応じて種々の大きさや形の容器を使用することが可能であるが、ここでは容量が35リットル（高さ20 cm，幅25 cm，長さ70 cm）の樹脂製容器を使用した。本容器の上端中央部に角材（3 cm×3 cm×70 cm）を渡して固定し、ロックウール・ポットの支持枠とした。この場合、中央の支持材を挟んで両側にポットを2個ずつ、合計12個のポットをのせることができる。

トウモロコシ栽培では、水耕液をポット下端から1 cmの高さまで満たし、ポットの中底と液面との間に約5 cmの空間を設けた。

2. トウモロコシの栽培および生育パラメータの測定

播種に際しては、吸水後、30°Cで12時間加温した催芽種子1粒を十分吸水させたロックウール表層中央部1 cmの深さに埋め込んで固定した。根の先端が液肥面に到達後、エアポンプによる液肥中への酸素供給を行った。木村氏 A 液¹³⁾の Mn 濃度および pH を種々に変化させた水耕液を使用してトウモロコシを30日間栽培し、その間における草丈、

根長、乾物重、葉色および個葉の光合成速度の経時の変化を調査した。

Mn 濃度は水耕栽培における標準的濃度の100倍程度を目安とし、50 mg/l，100 mg/l および200 mg/l の3水準に設定した¹³⁾。pH も5.5，6.0，6.5の3水準とし、合計9処理区を設けて各区3反復で実験を行った。Mn は MnCl_2 の形で与え、水耕液の交換は2日毎に行った。また、pH の測定、調節は毎日2回行った。

この後、Mn 濃度50 mg/l，pH 5.5に調節した木村氏 A 液による栽培を継続し、登熟期まで60日間生育状況の観察を行った。

光合成速度の測定は、ポットを水耕液槽から取り外し、植物個体を対象に同化箱法で実施した。同化箱内の気温は30～35°Cに維持した。葉色の測定には葉緑計（富士平社製 CT 101）を用い、葉内透過光の強度を数値（緑度）で示した。根長の測定にはルートスキャナ（Comair 社製）を用いた。

結果と考案

第2図には、第3葉展開期の生育状況を示した。

第3図には、pH と Mn 濃度が異なる水耕液で栽培したトウモロコシ個体の発芽後8日目から30日目までの間の葉身の緑度の変化を示した。いずれも処理区においても、発芽後8日目ごろまでは葉身の緑度は高く、1.1以上の値を示していたが、その後、急激な黄化現象を呈し¹⁴⁾、18日目前後で各処理区とも緑度は最低値（0.3～0.6）となった。この時期が供試トウモロコシの従属栄養期から独立栄養期への移行期と考えられる。その後、緑度は回復に向かうが、回復状況は処理区により大きく異なった。pH 5.5，Mn 50 mg/l 区では、緑度の上昇は著しく、30日目には1.2以上に達したのに対して、pH 6.5，Mn 50 mg/l 区では、緑度はほとんど回復せず、0.5前後にとどまった。

この後、pH 5.5，Mn 50 mg/l 条件で栽培を続けると、順調な生育を示し、草丈は170 cm に達し、登熟期に至った。この間、植物体が倒伏することなく、ロックウール・ポットで植物体を十分支持することができた。

第4図には、緑度が異なる葉身の光—光合成曲線の変化を示した。光合成速度は緑度の低下に伴って減少した。1400 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{sec}^{-1}$ の光条件下では、緑度が高い（1.18）葉身における光合成速度は27.1 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{sec}^{-1}$ であったのに対して、緑度

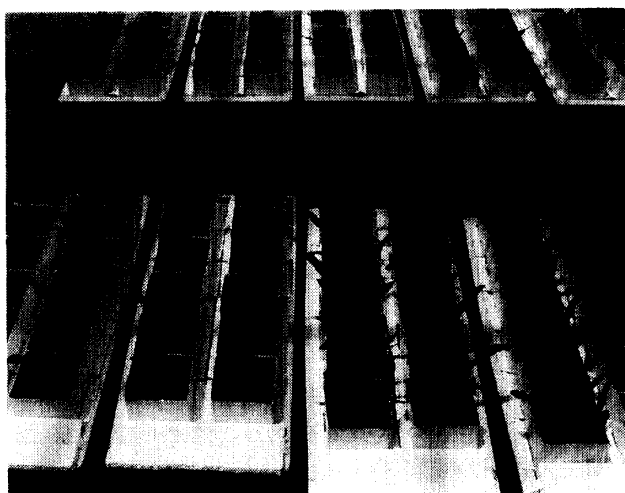


Fig. 2. Young corn plants grown in the rockwool pot water culture system.

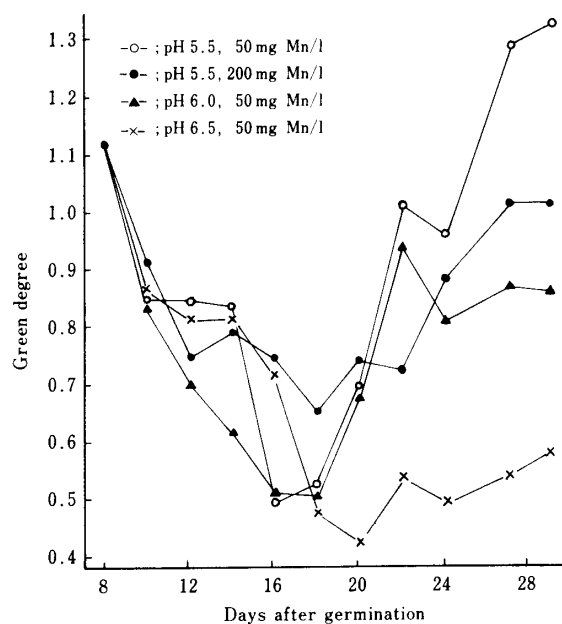


Fig. 3. Effects of pH and Mn concentration in culture solution on the green degree of corn leaf. Green degree was measured by CT101 green meter.

0.28 では光合成速度は 35% ($9.5 \mu\text{mol m}^{-2} \text{sec}^{-1}$) に低下した。また、緑度は光一光合成曲線の形にも影響を及ぼし、緑度 1.18 の場合の光一光合成曲線は不飽和型曲線を示したのに対して、緑度が低い (0.79~0.28) 葉身の光一光合成曲線は飽和型を示した。すなわち、光飽和点は緑度の低下にともなって低下し、緑度 0.28 では、光飽和点は $600 \mu\text{mol m}^{-2} \text{sec}^{-1}$ 前後であった。葉身の緑度が 1.18 に達すればトウモロコシは C_4 型本来の光合成能力を示

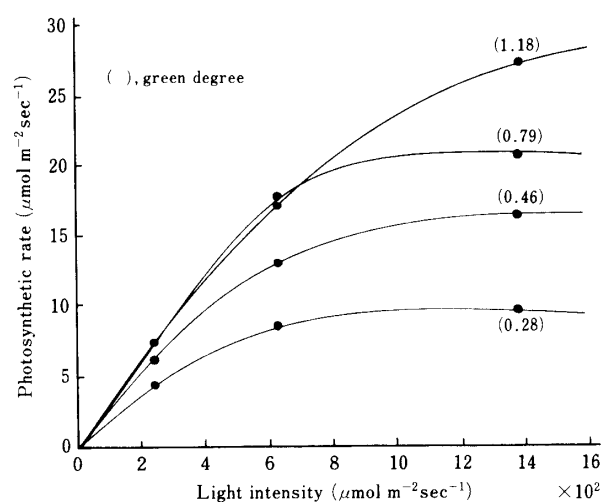


Fig. 4. Change in the pattern of light-photosynthesis response curve with green degree of leaf. Green degree was measured by CT101 green meter.

すものと考えられる。

第1表には発芽後30日目における全処理区の生長諸形質および器官別乾物重を示した。各 pH 区における個体乾物重の平均値には処理区間差が認められ、最大値 (10.84 g) は pH 5.5 区で示された。pH が上昇すると乾物重は減少し、葉面積、草丈、根長、緑度など他の形質の平均値についても同様の傾向であった。ロックウール・ポット水耕栽培におけるトウモロコシの生育に好適な液肥 pH は 5.5 であった。ロックウールブロックと水耕液が接触するとロックウールの構成物質が溶出して水耕液の pH が 7.0 前後に上昇するため、水耕液の pH を適切に維持することが困難である。本装置はロックウールと水耕液が接触しない構造となっているため水耕液の pH 調節は容易であった。

次に、各 pH 区における Mn 濃度と生育との関係を見ると、個体乾物重は全 pH 区とも Mn 50 mg/l 区において最大値を示し、Mn 濃度が上昇すると減少した。pH と Mn 濃度との組合せ条件で見ると個体乾物重は pH 5.5, Mn 50 mg/l で最大値 (14.04 g)、pH 5.5, Mn 200 mg/l で最小値 (7.39 g) を示し、両者間には 2 倍近い差が認められた。pH 5.5 で栽培した場合、Mn 濃度にとまなう乾物重の変動幅は大きかったが、pH が上昇すると乾物重に及ぼす Mn 濃度の影響は小さくなった。草丈、葉面積および器官別乾物重もこれと同様の傾向にあった。また、pH 5.5 区では、緑度は Mn 濃度の低下に伴い上昇し、Mn 濃度 50 mg/l で最高値 (1.31) を示したが、この傾向は他の pH 条件下で

Table 1. Change in growth parameters of a corn plant grown for 30 days after germination at different pHs and Mn concentrations in culture solution.

pH	Mn mg/l	Dry matter weight (g)				LA* (cm ²)	Root length (m)	Height (cm)	Green* degree
		Leaf	Stem	Root	Total				
5.5	50	5.92	5.22	2.90	14.04	2000	78	118	1.31
	100	5.22	3.86	2.01	11.09	2010	62	112	1.05
	200	3.60	2.39	1.40	7.39	1340	81	103	1.01
	Mean	4.91	3.82	2.10	10.84	1783	74	111	1.12
6.0	50	5.14	3.48	2.30	10.92	1730	64	105	0.85
	100	3.79	2.23	1.56	7.58	1430	46	98	0.86
	200	4.20	2.61	1.54	8.35	1560	85	103	0.63
	Mean	4.38	2.77	1.80	8.95	1573	65	102	0.78
6.5	50	4.33	2.72	1.92	8.97	1460	49	97	0.57
	100	3.80	2.36	1.56	7.72	1430	43	91	0.58
	200	3.69	2.70	1.51	7.90	1370	66	92	0.81
	Mean	3.94	2.59	1.66	8.20	1420	53	93	0.65

* LA, Leaf area; Green degree was measured by CT101 green meter.

は明確に示されなかった。

以上述べてきたことから木村氏 A 液を pH 5.5、Mn 濃度を 50 mg/l に維持することが本水耕装置をトウモロコシ栽培に使用する場合の最適条件であると判断される。

畑作物の水耕栽培を行う場合、根系の一部を液面上に引き上げ気相中に置くことが生育を良好にするとされている¹⁾。ロックウール・ポット水耕装置には、水耕液とロックウールブロックとの間に空間を設けてあり、酸素を根の上層部に、養水分を下層部に分離供給する仕組みとしてある（第 1 図）。このため、ロックウールブロックが乾燥状態となり、根の生育、機能への影響が懸念されたが、実験中、吸水量不足による乾燥害の発生は見られなかった。トウモロコシ発芽開始種子をロックウール内に定着すれば数日後には根は水耕液面に達し旺盛な生育を開始するため、水分欠乏が発生する可能性はほとんどないと考えられる。

ロックウールブロック下の空間は密閉状態にあり、相対湿度が常に 100% 近い条件となるため、ロックウールブロック内へはこの空間を通して、水蒸気による水分補給が行われていたものと考えられる。また、Dirksen ら²⁾、Molz ら⁸⁾、Van Bavel ら¹²⁾ の報告にあるように、生育土壤中の湿潤域から乾燥域へ相当量の水が根系を通して補給され得ることを考え合わせるとロックウールブロックは常にある程度の含水率を維持していたものと判断される。

筆者らは、1 個体のダイズの根系を過湿土壌と乾燥土壌に振り分けて生育させた場合の根系機能の変化について報告している^{10,11)}。ダイズの場合、根の機能分化があり、それぞれの条件に適応して根が生育し、水と酸素の供給が十分行われるため、地上部の生育も極めて良好となる結果が得られている。トウモロコシにおいてもロックウールブロック内と水耕液内で根は部位別に機能分化している可能性があるると予測される。

ロックウールは園芸作物栽培では実用的に広く用いられている土壌代替資材である。園芸作物以外では上和田^{4,5)} がサツマイモの栽培実験に使用した例が見られるが、他に報告例は少ない。筆者らは、トウモロコシの他に、水稻、ダイズおよびペントグラスについてもロックウール・ポット水耕装置による栽培実験を試みており、いずれも好結果を得ている。

本水耕装置では、植物個体をポットごと容易に移動できるため、同一個体を対象にした反復、経時測定、観察が可能である。また、地上部、地下部への処理を容易に行えるため、地上部・地下部の生育、機能の相互関係の物質生産的解明のための実験等へ使用範囲は広いものと考えられる^{6,7)}。

引用文献

1. 出口正夫・太田安定 1955. 水耕培地の温度及び通気処理が養分の吸収、生育収量に及ぼす影響。土肥誌 26: 148--154.
2. Dirksen, C. and P. A. C. Raats 1985. Water uptake

- and release by alfalfa roots. Agron. J. 68:621—626.
3. 羽生友治・藤澤英司・嶋田永生・岡本信行 1989. ロックウール栽培にみられるキュウリの黄化葉 第2報 培養液のP濃度とZn欠乏症. 農及園 64:433—436.
 4. 上和田勉 1988. サツマイモの水耕栽培技術開発に関する研究 (6) 茎葉部温と根部温の高低関係と塊根形成. 日作紀 57 (別 1):71—72.
 5. ——— 1989. サツマイモの養液栽培に関する研究 (7) 数種の品種についての収量比較. 日作紀 58 (別 2):55—56.
 6. 窪田文武・田中典幸・有馬 進・牧山繁生 1988. トウモロコシのロックウール・ポット栽培および 2, 3 の処理にともなう光合成, 蒸散速度の変化. 日作紀 57 (別 1):181—182.
 7. 窪田文武・岡野 智・縣 和一・片山忠夫 1989. アフリカ産栽培稲 *Oryza sativa* L. と *Oryza glaberrima* Steud. の光合成, 物質生産に関する研究 第2報 西アフリカ地域で採集した *O. sativa* および *O. glaberrima* の光合成, 物質生産における施肥反応. 日作紀 58 (別2):85—86.
 8. Molz, F. J. and C. M. Peterson 1976. Water transport from roots to soil. Agron. J. 68:901—904.
 9. 田中典幸 1977. マネ科作物の根群形成に関する研究. 佐賀大学農学部彙報 43:1—82.
 10. 田中典幸・窪田文武・有馬 進 1987. 畦畔大豆の根系機能分化について. 日作紀 56 (別 1):56—57.
 11. ———・—————・————— 1987. 畦畔大豆の慣行栽培における生産生態. 日作紀 56 (別 1):58—59.
 12. Van Bavel, C. H. M. and J. M. Baker 1985. Water transfer by plant roots from wet to dry soil. Naturewissenschaften 72:606—607.
 13. 馬場 起・高橋保夫 1956. 水耕法及び砂耕法 III 培養液. 戸苅義次他編, 作物試験法. 農業技術協会, 東京, 161—171.
 14. 高橋英一・吉野 実・前田正男 1980. 新版原色作物要素欠乏過剰症. 農山漁村文化協会, 東京, 150—158.