

植物の生育における最適な土壌の固さの追求

The search for optimum soil firmness in plant growth

Abstract

Our group hypothesized that roots are highly relevant to plant growth and that the less physical resistance the roots receive from their surroundings, the better they will grow. Firstly, we carried out a control experiment with tomatoes, using hydroponic and soil cultivation (Water has less resistance to roots than soil), and measured then length of their roots, which were also longer when water was used.

1. はじめに

近年、日本の食料自給率の低下が大きな問題となっている。そこで私たちの班は、植物を効率よく大量生産する方法を追求したいと考えた。私たちが最初に注目したのは、野澤重雄氏によって考え出された「ハイポニカ」(図1) という栽培方法である。ハイポニカとは、水耕栽培を用い、植物が育つ安い環境を整えることによって植物が本来持っている育つ力を最大限に引き出す農法である。ハイポニカでは、根が伸びるときの物理的な抵抗を小さくするため、土ではなく水を用いて栽培している。(図2)

私たちは根がよく成長するほど栄養や酸素を吸収しやすくなり、植物の生長が促進されると仮説を立てた。植物の大量生産の方法を追求するうえで、ハイポニカのような水耕栽培を参考にするか、従来どおりの土を使う農法を行うかどちらを取り入れるべきなのかを明らかにすることを目的とし、研究を通して根の周りの環境と根の伸びとの関係を調べる。



図1 ハイポニカ農法で育てたトマト



図2 ハイポニカのモデル

図1 出典：「技術資料(ハイポニカ巨木トマトの秘密など) ～野澤技研」

図2 出典：「ハイポニカシステムについて - ハイポニカ | 協和株式会社 ハイポニカ事業本部」

2. 研究方法と実験結果

実験(1) 水耕栽培と土壌栽培で育てた植物の根の長さの比較(2023年6/9～6/28)

①20～30cm 茎が成長したトマトの苗を6つ用意し、根の土を取り除く。プランターを6つ用意し、土壌栽培で植物を育てるプランターを3つ(以下、土プランターと書く)、水耕栽培で植物を育てるプランターを3つ(以下、水プランターと書く)用意する。(図3) 土プランターには養分を含まないバーミキュライトを入れ、水プランターには水道水を10L入れてそれぞれ植物を植えた。なお、土プランターの底には水が循環しやすいように穴をあけた。

②植物は日当たりの良い場所に置き、与える肥料の量は同じにした。植物の栽培に土を使うか、水を使うか以外の条件をそろえた対照実験を行った。肥料は市販の液体肥料を200倍に希釈したもので、週

に3回植物に200~300ml与えた。肥料を与えるとき、土プランターには水道水を与え、水プランターはすべての水を新しい水に入れ替えた。

③茎が十分に伸び、実ができるまで育てたのち、土プランターと水プランターの植物の根の長さとおの数の数を測定する。

結果(1)

水プランターより土プランターのほうが実のなる時期が少し早かった。しかし、開始から2週間半後、すべてのプランターにアオコが発生してしまい、水プランターの植物は黄色くなり弱ってしまった(図4)。原因は、プランターが小さく熱がこもってしまったことと、水をあげすぎたことからアオコの発生しやすい環境ができたからだと考えられる。そこで、実験を中断して根の長さとおの数の測定を行った。

測定したトマトの根の長さとおの数をまとめたのが表1である。今回の実験では、土プランターと水プランターのうちそれぞれ2つずつ測定を行った。根の長さを比較すると、土壌栽培で育てた植物より水耕栽培で育てた植物の根のほうが平均値で9cm長くなっていた(図5)。実の数を比較すると、水耕栽培で育てた植物より土壌栽培で育てた植物のほうが安定して実ができていた。

この実験から、やはり根は周りから受ける物理的抵抗が小さいほうが育ちやすいと考えられた。しかし、水耕栽培における問題点も見えてきた。水耕栽培は土を用いないので、体が不安定になる。そして、アオコのような微生物などに成長が阻害される可能性が土壌栽培より高い。この実験では土と水を用いた時の比較をしたが、与える水の量が異なっている、根が多くの水を含んで大きく成長したという可能性も考えられるため、2つ目の実験を行った。

表1

	根の長さ(cm)			実の数(個)		
	Max	Min	Ave	Max	Min	Ave
水耕栽培	40	30	35	4	1	2.5
土壌栽培	25	23	24	4	4	4



図3 手前が水プランター 奥が土プランター



図4 アオコが発生している



図5 右の二つが水プランターのもの 左の二つが土プランターのもの

実験(2) 寒天の固さとそこで育てた植物の根の長さの関係

濃度によって固さを変えられる寒天を用いて植物を成長させ、根が伸びるときに周りから受ける物理的抵抗の大きさと根の伸びの関係を調べる。私たちは、寒天が柔らかいほど根が伸びやすいという予想を立てた。ここでは、周りのものが固いほど根の受ける物理的抵抗は大きいと考える。この実験では、根の伸びが分かりやすく、成長速度が速いブロッコリースプラウトを用いた。

①ブロッコリースプラウトの種を十分な量用意し、滅菌処理を行った。処理を行った種子を3個ずつ試験管の寒天の上に植える。試験管は10本あり、5種類の固さの寒天を2本ずつ用意した。寒天それぞれの質量パーセント濃度(%)は、0.125、0.25、0.5、1.0、1.5であり、濃度が濃いほど寒天が固くなっていく。

②人工気象機の中で照度と気温を一定にし、アルミホイルで試験管に蓋をして 2 週間育てる。それぞれの試験管で根の長さを測定し、寒天の固さと根の長さの関係性を調べる。

表 2


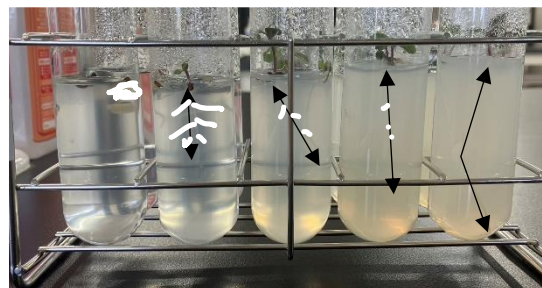
寒天の濃度 (%)	0.125	0.25	0.5	1.0	1.5
子葉	×	○	○	○	○
根の様子					

図 6



結果 (2)

2 週間後に寒天の中の根の長さを観察したところ、寒天の固さによって根の長さに顕著な違いが表れた。その時に測定した根の写真と子葉の有無をまとめたのが表 2 である。濃度が 0.125% の最も柔らかい寒天で育てたものは子葉が生えていなかった (図 7)。0.25% の寒天で育てたものも、他のブロッコリースプラウトと比べて子葉が小さいままだった。(図 8)

図 6 には白色の線で側根、黒色の矢印で主根の概形を図示している。根の長さ、つまり主根の長さは寒天の濃度が高く固くなるほど長くなっていった (根の長さは図 7~10 が分かりやすい)。図 6 からわかるように、寒天が柔らかいほど側根がよく成長し、固いほど主根がよく成長する傾向があることが分かった。

実験開始前は寒天が柔らかくなるほど根が周りから受ける物理的抵抗が小さくなり、根が伸びやすくなると予想していたが、実際は真逆の結果となった。これは、実験 1 の結果から考えられることに対して矛盾が生じてしまう。そこで本研究の考察として、この矛盾の原因を分析した。



図 7 0.125%



図 8 0.25%

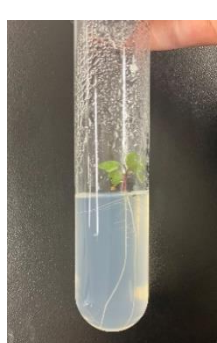


図 9 0.5%



図 10 1.0%

3. 考察

(1) 根の先端への抵抗が『水>土』なのではないか

実験 2 では根の先端への抵抗が大きいものほどよく伸びていた。また、実験 1 では水耕栽培で育てたもののほうがよく伸びた。ここで根が受ける物理抵抗の大きさの関係が水<土になると仮定してしまうと、先ほども述べたように二つの実験結果に矛盾が生じる。そこで、根が受ける抵抗は水>土であると仮定してその原因を考えた。

私たちは水と土の粒子に着目すると与える抵抗の大きさが水>土といえるのではないかと考えた。それは粒子の間隔に水と土で差があると考えたからだ。下図 11 からわかるように、土壌栽培では粒子間の空気の容積がほとんどであり、平均すると根の先端への抵抗は小さく、一方水耕栽培は水分子がぎっ

しり詰まっているので平均すると根の先端への抵抗は大きくなると考えた。(図 11)

(2) 培地が固いほうが根の長さ自体は長くなるのではないか

私たちは『根の伸び=主根の長さ』という表し方で研究を進めてきた。しかし根には主根の他にも側根があり、それが主根の長さにも関係しているのではないかと考えた。

根の生育に使われるエネルギーを定数 E とする。また、主根の生育に使われたエネルギーを a (培地が柔らかいものを a1、培地が固いものを a2 とする。)、側根の生育に使われたエネルギーを b (同様に b1, b2 とする。) とする。すると、 $E=a+b$ という式が成り立つ。

①培地が柔らかいものについて考える。

培地が柔らかいと植物の体は不安定になる。そのため体を支えるために側根の成長にエネルギーが多く使われる。

②培地が固いものについて考える。

培地が固いと植物の体は安定しやすくなる。そのため側根の成長に使われるエネルギーは少なくなる。

①、②よりエネルギーの量の関係は $b_1 > b_2$ となる。したがって E は定数より $a_1 < a_2$ となる。

よって培地が固いほうが主根 (根の長さ) はよく伸びると考えた。(図 12)

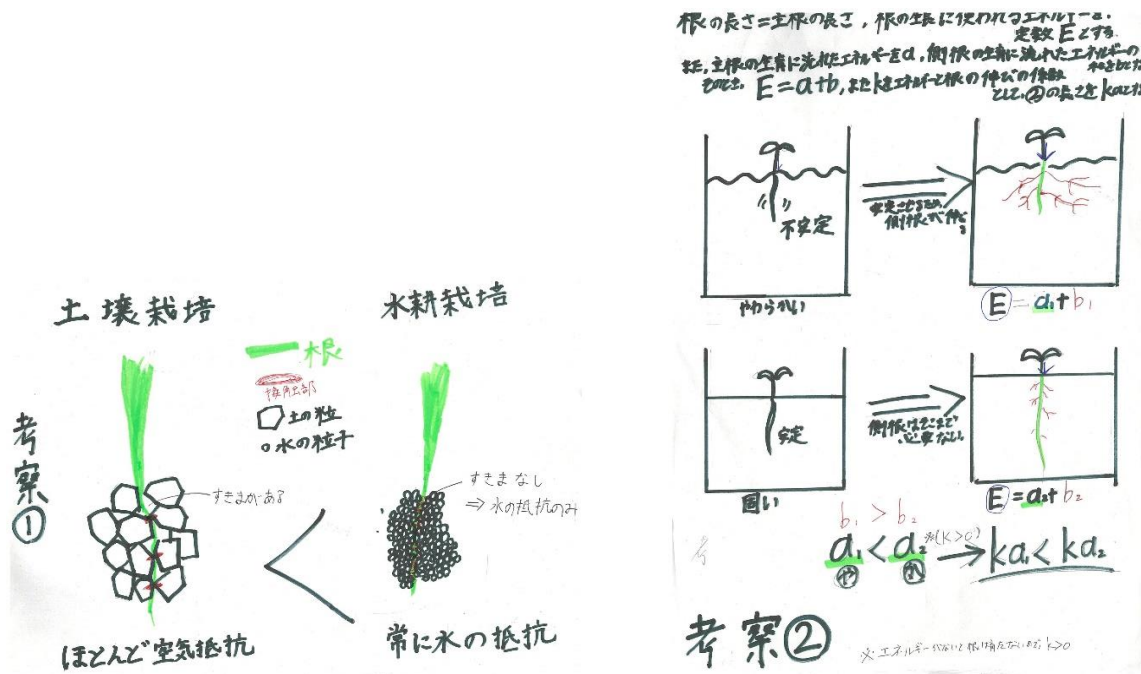


図 11

図 12

5. 今後の課題・展望

本研究での実験データを処理する際に統計の方法を誤った点がいくつかあった。実験結果をまとめる際は基本中央値に着目し、とれるデータはすべて取って保管しておくことが必要だと学んだ。今後研究を行う際にデータの記録・処理を適切な方法で行えるように、統計の知識を付ける必要があると考えた。

実験の分析から、主根の伸びが分かりやすい大根やニンジンなどの根野菜を対象にした、実験 2 と同様な実験を行うのはどうかとアドバイスをいただいた。根の長さだけでなく、主根と側根の長さのような根の形と土壌の固さの関係を調べる実験を行いたいと考えた。

6. 参考文献

ハイポニカ | 協和株式会社 ハイポニカ事業本部 - 革命的栽培技術で世界の農業をやさしく

<https://kyowajpn.co.jp/hyponica/> (最終閲覧: 2024年2月7日)