

酸化チタンが及ぼす植物への影響

宮城県仙台第三高等学校

酸化チタンは紫外線を吸収することで、水を分解し活性酸素を生成する。活性酸素は高い酸化力を持つため、核酸やタンパク質などの生体成分を攻撃する。また、酸化チタン粒子を吸引しそれが肺胞に達することで、発がんの危険性があるとされている。酸化チタンと活性酸素のどちらもヒトに対して毒性を示すと考えられるが、肺胞にあたる器官を持たない植物に対して同様であるか定かではない。そこで、私たちは植物に関しては酸化チタン単体よりも活性酸素の方が悪影響を及ぼすと仮説を立てた。実験を行った結果、酸化チタン単体では植物に悪影響を及ぼさず、活性酸素が植物に対して有害であることが判明した。

1 背景

酸化チタンは、高い親水性や隠蔽力、及び着色力を持つため、幅広い分野で活用されている物質である。1) 例えば、窓ガラスの表面に光触媒コーティングをするために、酸化チタンが使われている。これは、酸化チタンの親水性を利用している。2) 酸化チタンに紫外線が照射されることで、酸化チタンと空気中の水が反応を起こし、酸化チタン光触媒表面が水となじみやすい親水基で覆われる。これを親水性と呼ぶ。このとき、表面は汚れが付着しにくく、たとえ付着しても水により容易に洗い流せる性質を持っている。また、酸化チタンはダイヤモンドを超える高い屈折率を持っており、散乱力が高い。そのため隠蔽と着色を目的とする白色顔料に最適であり、多くの化粧品に含まれている。

一方で、先行研究より、酸化チタンをナノ粒子や吸入性粉塵としての形で過剰吸引することによる発癌性が指摘されている。3) 2020年2月に、ヨーロッパ連合はCLP規則にて、酸化チタンを発癌性の疑いがある物質が該当する発がん分類区分2(吸入)に区分することを発表した。この規定により、酸化チタンを含む食品の市場投入禁止や、1%を超えて酸化チタンを含有する製品には、特定の警告表示及びラベル表示が必要となることが規定された。

また、酸化チタンは紫外線を吸収することで、電子が励起されて電子正孔対を生じることが明らかになっている。4) 電子は空気中の酸素と、正孔は空気中の水分と反応することで、活性酸素であるスーパーオキシドアニオン($\cdot O_2^-$)及びヒドロキシラジカル($\cdot OH$)を生成させる。これらは非常に強い酸化力を持ち、特にヒドロキシラジカルにおいては、過酸化水素やオゾンにも勝る酸化力を有する。そのため、あらゆる有機物を酸化することが可能であり、ウイルスや有害化学物質を酸化分解する一方、核酸やタンパク質などの生体成分も攻撃する特徴がある。5)

酸化チタンが広く普及している今、酸化チタン

が私たち及び私たちの身の回りにどのような影響を及ぼすかを知る必要がある。そこで、私たちは酸化チタンの生物に対する影響について疑問を持ち、本研究に着手した。活性酸素は人体と植物の生体成分に作用し、どちらにも毒性を示すと考えられる。しかし、ヒトは酸化チタン粒子を吸入しそれが肺胞に到達すると、肺疾患を発症する一方、植物は肺胞に相当する器官を持たないため、活性酸素が植物に有害であるかは定かではない。そのため、私たちは、植物の成長は酸化チタン自体の影響を受けず活性酸素によって阻害されるという仮説を立て、今回の実験に取り組んだ。

2 材料と方法 [実験1]

実験1では、酸化チタンを与えることで植物に悪影響が及ぼされるかを調べた。本研究の目標は酸化チタンがどのように植物の成長を阻害するかである。成長が早く、生育が比較的簡単な二十日大根を用いることで、実験をより安定かつ効率的に行えると考えた。

また、植物に酸化チタンを根から吸わせることで、より効率よく体内に取り込むことができると考えた。そのため、酸化チタンを純水に混入させた酸化チタン懸濁液を使用した。また、CLP規則にて、酸化チタンが1%以上含有する製品には警告表示することが義務づけられたため、酸化チタン懸濁液の質量パーセント濃度は1%を最大とし、濃度の差によってどのように結果が変化するか調べるために、濃度が0.1%、0.01%のものと純水を用意した。モル濃度ではなく質量パーセント濃度を用いたのは、酸化チタンが水に溶解しないためである。

今回の実験では、植物の成長を調べる指標として発芽率を用いた。発芽率を算出するにあたり、下図の(3)のような、種子の一部が殻から少しでも出ている状態を「発芽した」と定義づけた。

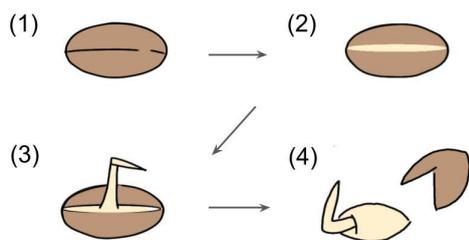


図1 発芽の流れ

材料

- ・ 酸化チタン(IV)水溶液
濃度1%, 0.1%, 0.01% 各20ml
- ・ 純水 20ml
- ・ 二十日大根の種子 10×4 (個)
- ・ シャーレ 8枚
- ・ 脱脂綿 8枚

方法

1. 1%, 0.1%, 0.01%の酸化チタン水溶液と純水をそれぞれ2つずつ用意する。
2. シャーレに脱脂綿を置いたもの8つ用意し、用意した溶液を注ぎ、二十日大根の種子を5個ずつ置く。
3. 陽の当たる場所で3日間育てる。
4. 発芽率を算出し、成長の阻害のされ方を調べる。



図2 実験装置 I

3 結果 [実験1]

濃度	純水	0.01%	0.10%	1.00%
発芽率	90%	33%	20%	0%

図3 実験1の結果

三日間とも晴天で、日中の平均気温は22度であった。酸化チタンを与えることで植物の成長に悪影響を及ぼした。また、濃度の増大に伴い、植

物の成長がより大きく阻害された。生育中に、酸化チタン懸濁液(濃度0.01%)を与えた二十日大根種子が一粒紛失したが、紛失した種子における発芽の結果によって濃度が高くなるほど成長が阻害されやすくなるという相関は左右されない。

4 考察 [実験1]

酸化チタンを与えることで植物の成長が阻害されるという結果が得られた。しかし、酸化チタンと活性酸素のどちらが植物に影響を及ぼしているかが明らかではない。そのため、実験2では活性酸素が発生しない条件下で植物を生育し、酸化チタン自体が与える植物への影響を調べた。

5 材料と方法 [実験2]

実験2では、活性酸素を発生させないことで、酸化チタンが及ぼす植物への影響を調べた。光を遮断するために、植物をアルミホイルで覆い生育した。また、今回使用する二十日大根は暗発芽種子であるため、適切な温度、湿度、酸素があれば光のない環境下においても十分な発芽を期待できる。実験1では、植物を育てた三日間における日中の平均温度が22度であったため、温度を22度に設定した恒温器で育てることにした。発芽率を調べたところ、すべての条件において発芽率が100%となったため、根の長さを測り、平均値を算出し、成長に差があるかを調べた。

材料

- ・ 酸化チタン(IV)水溶液
濃度1%, 0.1%, 0.01% 各20ml
- ・ 純水 20ml
- ・ 二十日大根の種子 10×4 (個)
- ・ シャーレ 8枚
- ・ 脱脂綿 8枚
- ・ 恒温器

方法

1. 1%, 0.1%, 0.01%の酸化チタン水溶液と純水をそれぞれ2つずつ用意する。
2. シャーレに脱脂綿を置いたもの8つ用意し、用意した溶液を注ぎ、二十日大根の種子を5個ずつ置く。
3. シャーレにアルミホイルを被せ、22度に設定した恒温器内で三日間育てる。
4. 根の長さを測り、平均値を算出し、成長の阻害のされ方を調べる。

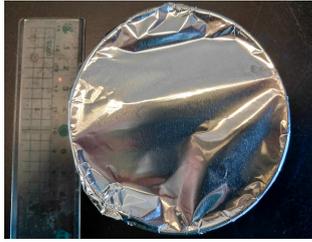


図4 実験装置Ⅱ

図8 酸化チタン懸濁液(濃度1.00%)を与えた種子

濃度	純水	0.01%	0.10%	1.00%
根の長さ (平均)	2.3 cm	2.4 cm	2.0 cm	2.2 cm

図9 実験2の結果

6 結果〔実験2〕

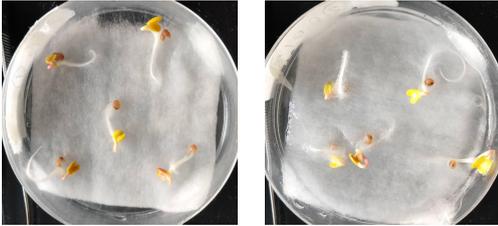


図5 純水を与えた種子

与える酸化チタン懸濁液の濃度を変化させたところ、二十日大根種子の根の長さはすべて2cm程度であり、酸化チタン懸濁液を与えることで二十日大根の成長は阻害されなかった。

7 考察

実験1の、酸化チタンを与え尚且つ活性酸素が発生する条件下では、植物の成長が阻害された。また実験2の、酸化チタンは与えるが活性酸素が発生しない条件下では、植物の成長は阻害されなかった。これらの結果から、植物の成長を阻害したのは活性酸素であり、酸化チタン単体では植物の成長に影響は及ぼさないと考えられる。

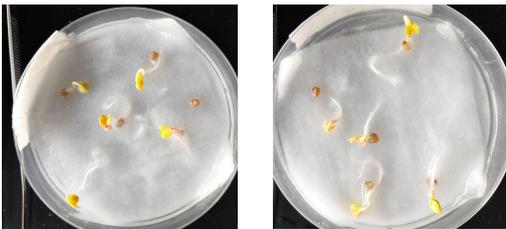


図6 酸化チタン懸濁液(濃度0.01%)を与えた種子

8 今後の展望

今回の実験はあくまで酸化チタンが植物に及ぼす影響を調べた基礎実験である。酸化チタンは、特有の高い親水性や隠蔽力など活かして、幅広い分野で活躍しており、わたしたちに身近な物質と言える。発がんの危険性などが問題視され規制がなされる一方、これからも様々な形で酸化チタンが使われることが予想される。加えて、酸化チタンは自然界には存在しない物質である。そこで懸念されるのが、ごみの不適当な処理や廃棄によって酸化チタンが自然界に流出するという問題だ。そのため、私たちは酸化チタンが及ぼす私たちの身の回りへの影響を知らなければならない。よって今後は、今回得られた実験結果を踏まえ、実際に起こり得る具体的な状況を想定し、実験を行いたいと考えている。

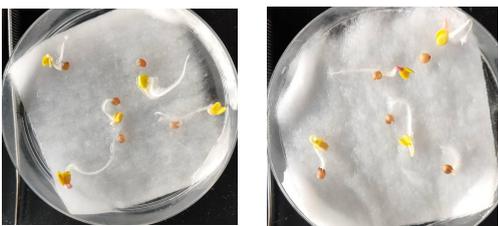
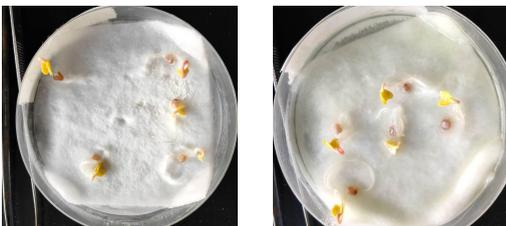


図7 酸化チタン懸濁液(濃度0.10%)を与えた種子



【参考文献】

- 1) 佐藤 しんり. 『光触媒とは何か』. 講談社, 2004.

- 2) 河原 哲郎, 安崎 利明. 『光触媒防汚ガラスの超親水性』. ニューガラス, 21, 3, 2006.
- 3) 入江 寛, 橋本 和仁. 『光触媒技術の現状と今後の展開』. まてりあ, 41, 4, 2002.
- 4) 野崎 弘, 飯田 武揚. 『酸化チタンの物性とくに着色の電子構造』. 生産研究, 16, 7, 1964.
- 5) 中村 成夫. 『活性酸素と抗酸化物質の化学』. 日医大医会誌, 9, 3, 2013.