

どうやって見分ける？

植物の生理障害

8

〈第二期最終回〉

～生理障害の診断・農耕地土壌の撥水による発芽、生育不良～

兵庫県立農林水産技術総合センター 環境・病害虫部 主任研究員

まき ひろ ゆき
牧 浩之



筆者略歴

牧 浩之／兵庫県立農林水産技術総合センター 主任研究員

主な研究テーマ／炭化法等による未利用有機資源のリサイクル、野菜の施肥改善、要素障害の診断など

これまでは肥料成分の過不足によって起こる「要素障害」をご紹介してきましたが、今回は要素障害から少し離れ、土壌が水をはじき、水分条件が不均一となり発芽や生育を阻害する「土壌の撥水性」について、なぜ起こるのか、どうすればよいのかを考えてみましょう。

土が水をはじき、発芽や生育を抑制する（撥水性）

写真1はコマツナを栽培しているハウスで見られた土壌撥水による生育不良の様子です。夏場の土壌消毒後の栽培で、上から散水すると、水が畝の上で水滴となって表面にとどまり、場合によっては谷間に転がり落ちたりして、水やりがうまくできなくなります（写真2）。現場で観察すると、生育が不均一で、畝の上は乾燥状態ですが谷間には十分に湿っていました。土を掘って調べると、畝の谷間や部分的によく湿ったところは表面も作土も十分湿っているのに、そのすぐ隣では表面も作土も非常に乾燥し、水分が横にしみこんでいないことが確認されました。これは撥水性を示す土壌で見られる現象で、「マクロポア流」と呼ばれる土壌中の水の流れが関わっています。



↑ 土壌表面に水滴を落としたところ。
この土壌では水滴がしみこむのに5分近くかった。



→
コマツナ栽培圃場で見られた土壌撥水による生育不良。
上から満遍なく散水しているにもかかわらず、畝の上は乾燥気味でコマツナの生育ムラが大きい。畝の谷間には水分が十分にあるが、穴を掘ってみても水分が横に浸透していないため、コマツナは萎れている。

撥水性はどのように調べるのか？（水滴浸入時間法）

土壌の撥水性を評価する方法にはいくつかあります。水滴浸入時間法、90度水滴浸入時間法、毛管上昇法などです。その中でも簡便で分かりやすい水滴浸入時間法を用い、土壌の撥水性を調べました。

この方法は、一定の大きさにふり分けた土壌に対して、一定量の水滴を一定の高さから落とし、水滴が土壌にしみこむ時間を計測する方法です（写真3）。いろいろ気をつける点がありますが、複雑な装置や試薬を必要とせず、操作も簡単です。事前の予備試験の結果、0・5～1・0mmにふり分

写真3



↑水滴浸入時間法による撥水性の評価。一定の大きさにふり分けた風乾土に一定の重さの水滴を落とし、水滴がしみこむ時間を測定する。

けた「風乾土」に、約30mgの水滴を高さを決めて落とし、その水滴が土壌に吸収される時間を測定することにした。

撥水現象の原因（土壌粒子表面の有機物の膜が水をはじく）

土壌が水をはじく撥水現象のメカニズムは完全には分かっていませんが、概略は「土壌構造の表面に有機物の膜ができ、有機物の持つ疎水性により水をはじく」と考えられています。つまり、土壌を構成する無機鉱物自体には撥水性はないのですが、その表面に撥水性を持つ有機物が張り付き、水をはじくのです。

生育ムラの原因「マクロポア流」

表は堆肥を連用し、強い撥水性を示す施設軟弱野菜圃場で、深さ別に土壌の撥水性を調べたものです。深さ別に土壌を採取し、同じように風乾し、ふり分けて比べています。その結果、深さ20cmまでの土壌では撥水性が高いものの、20～30cmで低下し、30cm以下の土壌では水をはじきませんでした。筆者はこの撥水性が堆肥の連用によって発生したもので、耕うんの影響が強く、有機物含量が多く浅い場所ほど撥水が強く出たものと解釈しています。後に説明しますが、土壌に強い撥水性を付与する蒸気処理を行っても、下層土では撥水性を示さないことから、元々の土壌は撥水性を持たないことが分かります。

通常の土壌では固体の占める割合は意外と少なく、体積で示すと大体20～40%ほどで、残りの60～80%は孔隙、つまりすき間が占めています。このうち「マクロポア」と呼ばれる比較的大きなすき間（直径数mm程度以上）を、水分が下に移動することで自然の排水路の役割を果たし、この水の流れを「マクロポア流」といいます。普通の土壌

では、マクロポアから水が排水される時でも、より小さな土壌の孔隙の方が水を保持する力が強いので、土壌粒子内や土壌粒子間の小さなすき間に水がしみこみ、土壌に適度な水分が保たれます。ところが土壌の撥水性が強いと、水分は小さなすき間にしみこむ前に大きなすき間を伝って流れ去ってしまい、土壌の水分に強いムラができ、生育ムラの原因となります。

表 土壌の深さ別の撥水性

採取の深さ (cm)	※ 風乾土 浸入時間 (秒)	※※ 蒸気処理後 浸入時間 (秒)
0～10	280	12,000
10～20	280	14,000
20～30	78	3,620
30～	0	0

※40℃通風条件
※※オートクレーブを用いて120℃、10分

撥水に影響する要因

土壌中の有機物（有機物が多いほど撥水性は強くなりやすい）

撥水性の出やすい土壌の第一の特徴に、有機物の多いことがあります。ゴルフ場で見られる撥水性（ドライスポット）や森林の林床表土などが知られており、このような土壌を燃焼して有機物を除去すると撥水性がなくなることから、土壌撥水性の主体は有機物の性質によると考えられています。これらの有機物はとても複雑な状態で、親水基や疎水基という構造を多数持っています。親水基とは水に濡れやすい構造、疎水基は水をはじき、油になじみやすい構造と考えてください。有機物にはこの相反する二つの性質があります。土壌粒子の表面は膜状の水に覆われ、疎水基はこの水にマスクされるので土壌は撥水しません。しかし、乾燥により膜状水がとぎれて疎水基が顔を出すと、乾燥の程度に応じて撥水性を示すようになります。例えば、ピートモスがい

ったん乾燥すると水をはじきやすくなるのもこのためです（第1図）。

また、有機物の中でも反応が進んだ

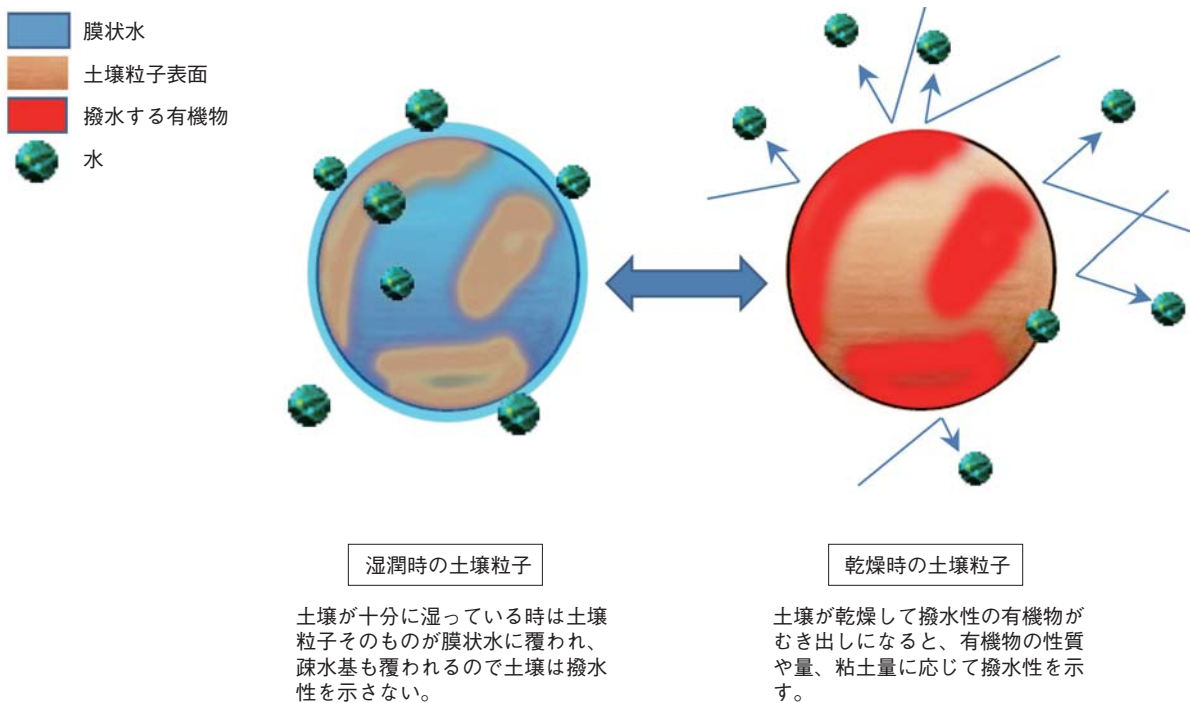
腐植より、新鮮な有機物の方が撥水性が強いことも分かっています。新鮮な有機物を多量に投入すると強い撥水性が現れるのですが、新鮮な有機物を分解して増殖する糸状菌（かび）の構成成分に疎水性が高いものがあることが原因の一つと考えられています。これらの構成成分が分解し腐植となると、撥水性はやや低下します。

粘土（粘土質の土壌では撥水性は出にくい）

撥水性の出やすい土壌のもう一つの特徴は、粘土が少ないことです。ここで少し粘土などの土壌粒子の成り立ちを説明しましょう。

土壌の主な材料は火山灰や岩石などで、これが風化され、生物遺体加わり長い時間をかけて土壌が生成されます。風化には二段階あり、第一段階は温度や水、生物などの働きにより物理的に風化され、礫や砂になります。第二段階は化学的な風化で、これによりシルトや粘土、塩基類ができます。この第二段階の風化は、主に水の多い状況で進行します。砂や礫などの一次鉱物が、水の中で化学的に分解されるのです。つまり粘土鉱物は、水中での反応で生成される成り立ちのため、親水性が強く、内部に水を蓄えやすい性質を持ちます。このため粘土の多い土壌

第1図 土壌の乾燥・湿潤と土壌撥水性のモデル



では撥水性は出にくくなります。

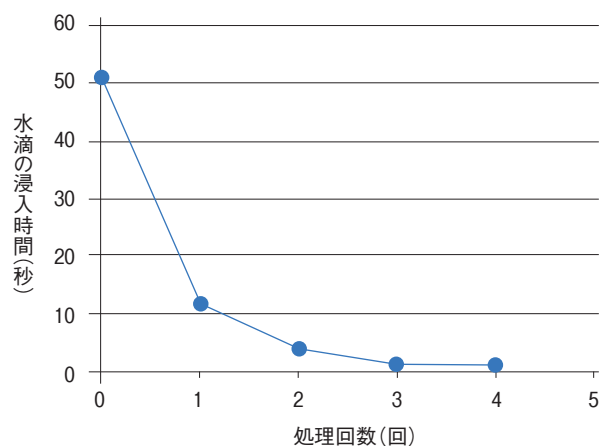
それでは撥水性の強い土壌の対策として、粘土を加えるとよいのでしょうか？ 答えはイエスでもありノーでもあります。確かに粘土を加えることで撥水性は抑制できますが、十分に効果を発揮するためには土壌に対して数%以上の量が必要です。10aの圃場であれば5tや10tの施用量になり、これだけの量の粘土を確保するためのコストや施用の手間を考えると実用的とはいえません。

乾湿の繰り返し（露地栽培では問題が出にくい）

土壌が乾燥していると撥水性が強くなることを先ほど説明しました。含水率の影響以外にも、一度濡れることで乾いた後に撥水性が低下することがあります。

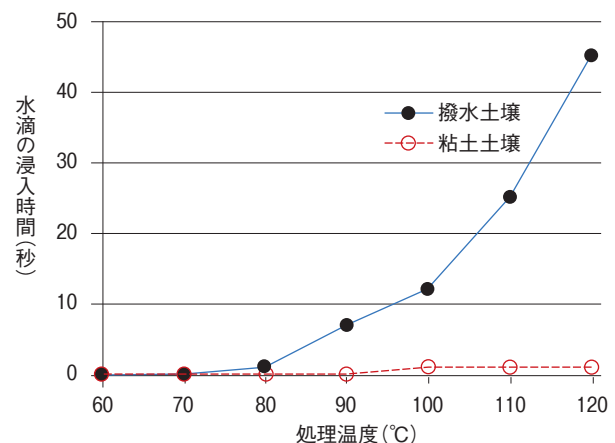
第2図は蒸気消毒の後に弱い撥水性を示した施設栽培土壌を用い、実験室内で乾湿を繰り返して撥水性の変化を見たものです。ふるい分けた風乾土をシャーレに詰め、霧吹きで静かに表面を濡らし、24時間通風条件で乾かすことを繰り返し行いました。そうした乾湿を3回繰り返すことで、この土壌では撥水性を示さなくなりました。これは撥水性を示す土壌粒子（この場合は団粒構造）が水によって壊れ、新たな断面

第2図 乾湿の繰り返しによる土壌撥水性の減少



霧吹きで静かに土壌表面を濡らし、24時間乾燥を繰り返した。

第3図 高圧滅菌釜を用いた蒸気処理による土壌の撥水性の増加



処理時間5分。
乾燥機による乾燥処理（60～120℃、5日間）では撥水しない土壌でも、水蒸気により撥水性が高まる場合がある。

蒸気（乾燥した土壌を蒸気消毒すると撥水性が強くなる）

には撥水性がない（有機物が付着していない）ことや、粒子表面の有機物にさらに小さく親水性の強い粘土粒子が付着し、疎水基を覆い隠したためと考えられます。このことから雨水に常に当たる露地栽培では、施設栽培に比べて撥水現象が問題になることが少ないといえます。

蒸気消毒は薬剤を使用せずに高温の水蒸気で病害虫や雑草種子を死滅させる土壌の消毒法で、主に施設栽培などで利用されています。以前から、蒸気

消毒の後に土壌の撥水性が問題となることが経験的に知られており、高温により土壌が乾燥するためと考えていました。

そこで、蒸気消毒により撥水現象の現れる土壌を持ち帰り、80～120℃で5日間の乾燥処理を行ってみました。が、ほとんど撥水性は発現しませんでした。次に、高圧滅菌釜を用いて60～120℃で5分間、水蒸気のある条件で加熱してみました。すると90℃以上の高温で撥水性が発現することが分かりました（**第3図**）。単なる乾燥ではなく、水蒸気が必要だったのです。単

なる乾燥だけで撥水性の高まる土壌もありますが、このような土壌を蒸気処理すると極めて強い撥水性が見られ、土壌に水滴を垂らしても水滴が浸入するの1時間以上かかりました（写真4）。これは水蒸気1gには539calの潜熱と呼ばれるエネルギーがあり、乾燥状態での高温よりも土壌に及ぼす影響が強いためですが、その詳細は今のところ不明です。恐らく水蒸気のエネルギーによって土壌粒子表面の有機物に変質したり、水蒸気乾燥現象などが関係していると考えています。

また、蒸気処理時の土壌の水分含有

写真4



↑ 蒸気処理によって見られた極めて強い土壌の撥水性。水滴がほぼ球形をしており、非常に強い撥水状況であることが見て取れる。

写真5



↑ 水管理の徹底により撥水性を抑え、良好な生育に。生育ムラはほぼ解消、この時の風乾土の水滴浸入時間は5秒程度。ただし、蒸気処理を行うと極めて強い撥水性が出る土壌なので今後も注意が必要。

土壌の撥水対策

これまでのおさらい

今回は土壌の撥水性について述べてきました。これまでのことを簡単にまとめると、土壌の撥水は土壌粒子表面の有機物によって起こり、有機物が多

率が重要なことも分かりました。私たちの試験の結果では、強い撥水性が出やすい土壌でも15%程度の含水率を保って蒸気消毒を行えば、実際の撥水性は問題のない水準でした。

くて粘土の少ない土壌で高まりやすいこと、乾燥状態で高まること、高温の蒸気によって飛躍的に高まること、水により土壌の団粒が壊れると撥水性が低下することなどです。これらのことから、土壌の撥水性の性質がある程度分かります。

次に、農耕地土壌で撥水性が問題になる場合の対策について考えてみましょう。

ポイントは土を乾かさないこと

土壌が撥水する根本的な要因は土壌粒子（粘土）の親水性と有機物の疎水性のバランスで、これに水分条件が環

境要因として加わります。これらの要因のうち、粘土粒子や有機物の面からの対策はやや難しく、それは土壌の有機物を急激に減らしたり、粘土含有率を劇的に増やすことがなかなか難しいからです。

そこで撥水性に影響する環境要因である水分をコントロールすることが、現実的な対策になります。つまり土壌の撥水性が高まらないようにする管理で、冒頭の写真1に示した撥水性の高い土壌でも、大体15%程度以上の水分率を維持すれば、撥水性は問題のない水準で収まり、良好な生育を確保する

ことができました（写真5）。水分15%とは土壌によっても多少異なりますが、「土を強く握りしめると水分はしたたり落ちないが、はつきりと水気を感ずる程度」の水分です。

水分管理による対策は、撥水性が出やすい土壌において、撥水性を出さないための対策ですが、出てしまった場合などは作前に湛水して耕うんし、団粒構造を一度壊す「代かき」が有効です（条件によっては難しいこともあります）。また、食品を生産しない花壇苗やゴルフ場などでは界面活性剤を用いて撥水性を抑えることもあります。あるいは時間はかかりますが、有機物の投入を見直してみることも必要です。

4回にわたり「植物の生理障害」の実例編としてお話しをしてきましたが、ここでこのシリーズを終え、次回違う形で皆さんにお会いしたいと思います。

