【解説】

デザイナー・ソイル技術の誕生

土壌をゼロから創製する

篠原 信

キーワード：創出土壌，有機質肥料活用型養液栽培，並行複式無機化法，硝酸化成，エレメンタル土壌微生物

農耕が始まって1万年，食糧生産を支え続けた土壌。足下のありふれた存在である土壌。しかし土壌を人工製造する技術

Birth of Designer Soil Technology: Creation of Soil from Scratch
Makoto SHINOHARA, 国立研究開発法人農業・食品産業技術総合
研究機構

はなく、土壌を改善する「土づくり」では、堆肥を入れて耕すほかは、ミミズなどの土壌生物の成り行きに任せるしかなく、10年もの歳月が必要とされた。土壌の物理性、化学性、生物性をデザインすることは困難だった。それは、土壌微生物を土壌以外の媒体に移植し、活動させる技術がなかったから。しかしついに、非土壌媒体に微生物を移植し、活動させる「土壌化」の技術が誕生した。私たちの食を支える「土壌」を創出する技術は、農業を基礎から創りかえるポテンシャルをもつ。

人類は土壌を造れない

FAOの報告によると、食糧の98.8%は土耕栽培（土壌で育てる栽培）で生産されている⁽¹⁾。植物工場が話題だが、私たちの食糧は、大地に根を張った植物で支えられている。

その植物を育む土壌は、足下にある日常的なものだ。砂漠でない限り、土壌は当然の存在だ。しかしこれほど身近な土壌なのに、人類は創出する技術をもたなかった。土壌は、ある特殊な機能を備える。その機能が欠落したら、陸上は腐敗物で満ちあふれ、植物は枯死し、多くの生物が絶滅するだろう。

◆◆◆ コ ラ ム ◆◆◆

大学3年生までと研究室所属後の学びの、決定的な違い。すでにわかっている既知か、誰もまだ知らない未知か。既知は暗記し練習すればOK。でも未知にどう立ち向かえば？ 研究だけでなくビジネスも、まだ誰も手掛けてないものを開拓する、未知を対象とした世界。しかし、未知と向き合えと言われても、どうすれば？

それが科学。現象をよく観察し、こうすればうまくいくかもと仮説を立て、試してみる。試行錯誤し、失敗を重ねながらも新しい発見を重ね、徐々に現象の真の姿に近づき、課題解決の方法を探る。こうした仮説思考と試行錯誤の繰り返しこそが、未知への向き合い方。研究室で学ぶもの。

実はこれ、赤ちゃんが実践している学習法。言葉も知らない赤ちゃんに、誰も言葉や歩き方を教えることはできない。赤ちゃんはああしたらどうなるだろう、こうしてみてもどうなるだろう、と、仮説と試行錯誤を繰り返し、体の動かし方、声の発し方を発見し、立ったり歩いたり、言葉を話したりする。赤ちゃんは最初から、未知との向き合い方を知っている。小学校に入るまでの幼児が成長の速さで親を驚

かせるのは、そのため。

けれど小学校に就学して以降、子どもは未知への向き合い方を忘れてしまう。既知を暗記するのに必死な生活へと変わってしまうから。これが大学3年生まで、15年間続く。その間に、仮説思考と試行錯誤の方法をあなたは忘れてしまう。

けれど慌てなくてよい。あなたは小学校に入るまで、仮説思考と試行錯誤を目いっぱいやっていたはず。そのときのことを研究室に入ってからリハビリして取り戻すことになる。しばらくは「正解は世界の誰かが知っているに違いない」という、既知から答えを探すクセが抜けられないかもしれない。しかし、目の前の未知を既知に変えるのは、世界の中であなただけ。目の前の現象を観察し、そこから仮説を立て、試行錯誤して情報を引き出す。赤ん坊のころの気持ちを取り戻す必要がある。

未知から知を産む技術を、ソクラテスは産婆術と呼んだ。あなたも一人のソクラテス。赤ん坊のころの思考法を取り戻し、未知から知を生み出してほしい。

興味のある方は拙著「ひらめかない人のためのイノベーションの技法」(実務教育出版社)をご参照したい。

土壌以外の場所に生ごみなどの有機物を置いてみよう。コンクリートや人工樹脂など非土壌の上では、有機物は腐敗するだろう⁽²⁾。腐敗した場所に植物を植えれば、根は強い傷害を受け、育たない。土壌が備える特殊な機能、それは「有機物を分解し植物に好適な無機養分を供給する機能」(無機養分生成能)だ。

月や火星に移住する計画があるが、月や火星にはレゴリス(岩石が細かく砕けた鉱物)はあっても「土壌」はない。生ゴミや糞便などの有機物を鋤き込んでも、腐敗するだけで、植物を植えても根が傷害を受け、ひどい場合は枯れてしまうだろう。今のところ、無機養分生成能を備えた土壌のある星は、地球だけだ。

土と土壌は定義が異なる

土と土壌はほぼ同義の言葉として使われているが、厳密には定義が異なる⁽³⁾。土は、レゴリスのように微生物が生息しない鉱物質の集まりも含まれる、広い概念だ。他方、土壌には多様な微生物が生息し、無機養分生成能を示す。

実は地球上においても、無機養分生成能を備えるのは自然土壌だけだ。パーミキュライトやロックウールなど

の人工培土が土の代わりに使われるが、こうした非土壌媒体に生ごみなどの有機物を加えても、腐敗するだけ。土壌を土壌たらしめている機能は無機養分生成能だといってよいだろう。

なぜ非土壌媒体では有機物が腐敗し、土壌では無機養分に分解され、植物が育つのだろう。腐敗と無機養分生成を分かちものは何だろうか。それは硝酸化成だ。

土壌中では、有機物(有機態窒素)の分解は2段階で進む⁽⁴⁾。アンモニア化成(有機物からアンモニアを生成)と硝酸化成(アンモニアから硝酸を生成)だ。しかし非土壌媒体では1段階目のアンモニア化成しか進まない。このため、硝酸が生成しない⁽⁵⁾(図1)。

多くの植物は好硝酸性植物で、硝酸を利用できないと健全に育たない⁽⁶⁾。硝酸化成は農業生産上、決定的に重要な機能だ。

ならば硝酸化成を担う微生物を非土壌媒体に接種すればよさそうなものだ。実際それを試そうと、硝酸化成を担う硝化菌を接種した研究が行われた。しかし硝化菌は奇妙なことに、有機物が大量に存在すると不活性化する⁽⁷⁾。この奇妙な性質のために、硝化菌は非常に難培養とされ、世界最大の菌株保存機関であるAmerican Type Culture Collection(ATCC)にすら、2006年時

硝酸「発酵」

腐敗

図1 ■ 土壌の分解と腐敗の違い

土壌中では有機物はアンモニア化成と硝酸化成の2段階で進行する。非土壌ではアンモニア化成までしか進まない。

図2 ■ 水中におけるアンモニア化成および硝酸化成の並行反応

有機物の添加量を1g/L以下に抑えることで硝化菌へのダメージを減らすと、やがて発生するアンモニア（NH₄⁺）をエネルギー源として硝化菌が活動し始め、硝酸（NO₃⁻）を生成する。硝酸が生成する段階では有機物（organic compounds）はほぼ分解され、脱窒菌のエネルギーとなるものがなく、脱窒が抑制される。

点で分離可能な硝化菌は22菌株に過ぎなかった⁽⁸⁾。

有機質肥料活用型養液栽培技術の開発

土壌以外の媒体では有機物は腐ってしまい、植物は育たない。このことは、養液栽培（水耕栽培）でも課題となっていた。養液栽培は1860年代にSachsが無機養分を水に溶解し植物を育てることに成功したことから始まった⁽⁹⁾。しかし、養液栽培で有機物を肥料として用いることはできなかった。

NASA ケネディ宇宙センターは90年代に7年間にわたり、養液栽培での有機質肥料の利用を試みた⁽¹⁰⁾。しかし硝化菌が有機物の暴露で不活性化する問題を解決できなかった⁽¹¹⁾。

筆者は、「日本酒の醸造に似ているな」と、妙なアナロジーを感じていた。日本酒はデンプンから糖、糖から

エタノールを生成する2段階の分解を行う⁽¹²⁾。他方、「酒が酢になる」、3段階目の酢酸発酵は進まないようにしなければならない⁽¹³⁾。

実は、有機態窒素の分解も、アンモニア化成と硝酸化成に加えて、脱窒（硝酸を窒素ガスに変換する反応）という3段階目の分解が進むことで知られる。具体的には、下水処理だ⁽¹⁴⁾。しかし脱窒が起きれば、植物の重要な養分である硝酸が失われてしまう。3段階目の脱窒は止めつつ、2段階の反応を進めたいという点でも、酒造りと似ているように思った。

過去の研究はなぜ硝酸化成が不活性化したのか。そのほとんどは反応槽をアンモニア化成槽と硝酸化成槽に分け、有機物をアンモニア化成槽でなるべく分解することで硝化菌へのダメージを減らそうとしていたが、残存する有機物がダメージを与えるのを避けられなかった⁽¹⁵⁾。しかし自然土壌では、有機物が大量に存在しても硝化菌

は活動している。もしかしたら、硝化菌はほかの微生物と共存すれば有機物の暴露に耐えられるのではないか。また、有機物がごく少量ならば硝化菌も暴露に耐えられるのではないか。

以上の仮説に基づいて検討した結果、以下の3つの注意点を守ること、水中でもアンモニア化成、硝酸化成を同時並行的に進めることに成功した⁽⁷⁾ (図2)。

- ①微生物源として土壌を少量加える (5~10 g/L)。
- ②窒素含量の高い有機物 (C/N比11以下) を少量添加する (1 g/L以下)。
- ③2週間以上暴気する。

この方法は、日本酒醸造法の並行複式発酵法 (糖化、エタノール醗酵を同時並行する方法) をもじって、並行複式無機化法と呼んでいる。

しかもこの方法だと、脱窒を抑えることができる。脱窒菌は、エネルギー源となる有機物と、酸素源となる硝酸の二つの条件がそろって活性化。ところが図2に示したように、有機物を添加した分解初期は硝酸がなく、硝酸を生成するところには有機物が残っていない。これにより、脱窒が活性化する条件を回避した並行複式無機化法が確立できた。

この培養液で養液栽培を行うと、培養液に有機物を加えながらの栽培が可能となる。本栽培技術は有機質肥料活用型養液栽培と呼ばれ、全国に普及しつつある。今後は海外にも普及を進めるべく、活動中だ。

根部病害抑止効果

本栽培技術は、難防除とされる青枯病やフザリウム病などの根部病害を抑止する効果が高い⁽¹⁶⁾。これは、根面に形成されるバイオフィーム (微生物群集構造) が根を保護し、病原菌の侵入や増殖を抑えるためと考えられる。カビの病原菌である病原性フザリウムは、厚膜胞子を形成し増殖を停止する⁽¹⁷⁾。厚膜胞子は、厳しい環境を生き抜くための耐久体として知られており、本栽培技術の培養液は、病原性フザリウムにとって生存の厳しい環境になっているようだ。

細菌である青枯病菌は、耕水に接種して8日後には検出限界以下にまで減少する⁽¹⁷⁾。本栽培技術の培養液からは抗菌作用のある物質は認められず、微生物生態系がこれら病原菌に直接作用しているようだが、詳細を検討中である。

病原性大腸菌 O157、サルモネラ菌を本栽培技術の培養液に接種すると速やかに減少し、6日後には検出限界以下となった⁽¹⁸⁾。これら人畜病原菌についても、本栽

培技術の培養液は棲息しづらい環境にあるらしい。

デザイナー・ソイル

ここで冒頭の話に戻る。「水は非土壌媒体の一つ。ならば、他の非土壌媒体も土壌化できるかもしれない」。検討の結果、鉱物質 (パーミキュライトやパーライト、ロックウール等) や人工樹脂 (ポリウレタンやポリエチレン等) などの多孔質担体に並行複式無機化法で培養した微生物を固定化すると、土壌と同様、無機養分生成能を示すことが明らかとなった (図3)。

無機養分生成能を付与した多孔質担体は自然土壌と同様、有機物を肥料として加えながら植物を栽培することができる。いわば、土壌創出技術が誕生したことになる。土壌創出技術は「土壌のデザイン」という、これまでにない技術体系を生み出す可能性がある。

栽培に適した土壌には団粒構造がある⁽¹⁹⁾。団粒は、微生物が分泌した粘着物質やミミズなどの微小動物の作用により、土壌鉱物が大小さまざまな団子状態になったものを指す。団粒が豊かな土壌は、水はけのよさと水もちのよさという、一見矛盾した性質を示す。大雨が降っても速やかに水が引き、土壌深くに酸素が供給される。逆に雨が降らなくても、団粒内部から水分が供給される⁽⁴⁾。団粒がない土は、雨が降ると水びたして根が酸欠となり、根腐れを起こす。好天が続くと土が乾ききってしまい、植物が枯れてしまう。「土づくり」は、いわば団粒の形成を目指す作業といってよい。しかし団粒形成は土壌生物の成り行きまかせのため、10年かかると言

図3 ■ 土壌化した非土壌媒体でのコマツナ生育実験

土壌化したロックウール (写真上) の3つのカラムは、水100 mLと鰹煮汁0.1 gを毎日加えたところ、コマツナが健全に生育した。土壌化処理を行わないロックウール (写真下) では、鰹煮汁が腐敗したことによる異臭が発生し、コマツナの生育は悪化し、枯死する株もあった。

われる。

だが土壌創出技術なら、団粒に似た物理性や化学性を備えた多孔質体にデザインすることが可能だ。ポアサイズを自在にコントロールし、水はけや水もちをデザインし、イオン交換能なども付与したデザイナー・ソイルともいうべき土壌を創出することが可能となる。

この技術は、熱帯の砂漠化防止に役立つかもしれない。熱帯雨林を伐採するとスコールと呼ばれる激しい雨が土壌を流亡させ、微生物相の貧弱な砂礫となり、無機養分生成能が失われるため、緑化が困難となる⁽²⁰⁾。

しかし、たとえばセラミックや人工樹脂の多孔質マットに無機養分生成能を付与すれば、スコールでも流亡せず、緑化が容易な土壌を製造できる可能性がある。

テラ・フォーミング

テラフォーミングとは、月や火星といった地球外天体を、人類や生物が生息できる環境に変える技術群を指す言葉だ⁽²¹⁾。テラフォーミングの実現には、月や火星のレゴリスに無機養分生成能を付与し、有機物の分解と生成の循環が成立しなければならない⁽²²⁾。本技術は、レゴリスを土壌化し、植物の生育を可能にする重要な技術となる。

ただ、月や火星には地磁気がなく、太陽風が大気を吹き飛ばしてしまうので、植物が作った酸素を失わないよう、閉鎖空間にしないとイケないだろうが。

有機由来の無機肥料

無機養分だけで構成された無機肥料は、天然鉱物のものを例外として、ほとんどが化成肥料（化学的に合成された肥料）だ。しかし化成肥料の合成には大量のエネルギーが必要とされ、アンモニア製造だけで全人類の年間消費エネルギーの1%以上を使用するといわれる⁽²³⁾。有機物を原料に無機肥料を製造しようにも、これまでの技術では硝酸を生成できず、腐敗液ができるだけだった。筆者が開発した、無機養分生成能を付与した多孔質担体に有機物を加え、翌日水で洗浄すると、硝酸や無機リン酸などを含んだ無機肥料を回収できる⁽²⁴⁾。製造効率の向上が課題だが、吸収の良い無機肥料を有機物から製造でき、農業現場にも役立つ技術になると思われる。

超軽量土壌

自然土壌は鉱物が主なので、かなり重量となる⁽²⁵⁾。

しかしポリウレタンなど人工樹脂を土壌化したなら、非常に軽量の創出土壌が得られる⁽²⁶⁾。屋上緑化は自然土壌だと重過ぎて天井が抜けるが、超軽量土壌なら、屋上緑化が可能な建造物は増えるだろう。

高層マンションだと、ベランダで野菜の栽培を楽しもうにも、土壌が重いと運ぶのがたいへん。そうした場合にも、軽量の創出土壌は便利だろう。

土壌の「腑分け」

足元の土壌を一つまみ、次に、1cm離れた場所の土壌を一つまみ。比較したら、土壌鉱物や土壌微生物の構成は大きく異なるだろう。

これまでの土壌微生物の研究では、100g程度の土壌を採取し、よく混ぜて平均化したものを分析してきた。しかしそれでは、鉱物種ごとに形成される微生物生態系を解析することは困難となる⁽²⁷⁾。土壌鉱物には長石や雲母、石英など、多種多様なものが含まれており、鉱物種が微生物生態系に影響を与えている可能性がある。しかし、そうしたものを個別に解析することは困難だった。

しかし土壌創製技術なら、モンモリロナイトやカオリナイト、バーミキュライトといった土壌鉱物ごとに無機養分生成能を付与し、それぞれの鉱物種が微生物生態系に与える影響を調べることも可能となるだろう。複雑怪奇でとらえどころがないように見えた土壌を、解析的に研究を進めることが本技術の登場により可能になるかもしれない。

エレメンタル土壌微生物

土壌に生息する微生物は、「無数」という表現がよく用いられる。研究によっては、 10^{11} cells/gにもものばる微生物が生息するという⁽²⁸⁾。土壌創出技術により、多孔質担体の種類や加工により、「物理性」や「化学性」をデザインする技術は生まれたといえるが、「生物性」のデザインは可能だろうか。

並行複式無機化法による培養液をメタゲノム解析したところ、含まれる微生物は1万種以上にのぼると推定された。DGGE法による解析では10種前後の微生物が主要なようだが、こうも多様では、生物性のデザインはおぼつかない。

筆者らのグループは、無機養分生成能を最小限の微生物種で再現できないか検討した。その結果、わずか3菌株で無機養分生成能を再現できることが明らかとなっ

図4 ■ 水中根における根毛の発達

化成肥料で栽培したトマトの水中根（左）には根毛の発達が認められない。有機質肥料活用型養液栽培で栽培した水中根には根毛が叢生し、その表面にバイオフィームが発達する。

た⁽²⁹⁾。 *Delftia* 属細菌と硝化菌2菌株（アンモニア酸化菌 *Nitrosomonas* sp. と亜硝酸酸化菌 *Nitrobacter* sp.）の計3菌株の共培養で無機養分生成能を再現できる。筆者らは、無機養分生成能を再現する最小単位の微生物の構成を「エレメンタル土壌微生物」と呼んで、研究を進めている。

エレメンタル土壌微生物だけでは植物の生育はやや遅れるため、今後は植物の生育を促す微生物⁽³⁰⁾と組み合わせるなど、微生物構成を改変することで植物の生育を改善できるか、今後の検討が必要である。

土壌の物理性、化学性、生物性のすべてをデザインする技術が、これで出そろったことになる。植物の生産性を最大化する土壌とはどんなデザインか。その研究がこれからスタートすることになる。

根の研究

「ものごとの土台」「問題の根本」と言うように、「土」と「根」は農業生産上、極めて重要な研究対象だ。ところが根は土壌に埋没し、観察のために根を引っこ抜くと構造が破壊され、埋め戻しても元のように根は機能しない。根と微生物の相互作用をリアルタイムで研究したくても、そもそもサンプル採取が困難だ。

有機質肥料活用型養液栽培は、根と微生物の相互作用を観察するのが非常に容易だ⁽³¹⁾。定植パネルを持ち上げるだけで、根のサンプル採取も容易だ。

興味深いことに、同じ培養液にコマツナ、イネ、トマトを定植し、根表面の微生物相を調べると、2週間で大きく変化する⁽³²⁾。植物種によって、根に定着可能な微生物が選抜されるものと思われる。

本栽培技術の特徴的な現象として、水中根に根毛が発達する（図4）。化成肥料による養液栽培では、水没した水中根には根毛が発達しない⁽³³⁾。これは、微生物が根毛の発生誘導に関与している可能性を示唆する。

腸内細菌で奇妙なアナロジーがある。無菌マウスの腸には腸絨毛がみられないが、微生物を与えると、腸絨毛

が発達するという⁽³⁴⁾。根毛や腸絨毛という、全く別の生物の突起物が、微生物の有無で消長が見られるというアナロジーは興味深い。根毛や腸絨毛は、微生物と相互作用をするための組織である可能性がある。

おわりに

本稿で紹介した土壌創出技術は、土壌の物理性、化学性、生物性を自在にデザインし、望みの土壌を速成製造する技術に発展する可能性を秘めている。

しかし、土壌というカオス（渾沌）を「解体」して本来によいのだろうか。中国の古典「莊子」（応帝王篇）には、渾沌に目鼻口をつけたら死んでしまった、という比喩がある。人間の浅知恵で、土壌という渾沌に目鼻をつけてよいのだろうか。

筆者が子どもの頃、盲腸は不要、切除すればよい、と言われていた。しかし現在は、腸内細菌叢の維持に重要な役割を果たす器官とされている⁽³⁵⁾。無用と切り捨てたものが、実は重要だったと後で気が付くことがある。

本稿では土壌微生物を再構成する手法を紹介したが、人間に不都合だと単純に考えて排除する微生物があつてよいものか、慎重に考える必要がある。

本研究は、土壌を全部創りかえるという粗暴さより、科学の俎上に載りきっているとは言えない有機農業に、科学的解明を進める点で役立ててもらったほうがよいかもしれない。有機農業は経験主義的な要素が強く、なぜその手法が有効なのか、十分なエビデンスを提供することが難しい。土壌創出技術は、解析的、要素還元的なアプローチから、そうした技術にエビデンスを提供することができるとは思えない。

土壌創出技術は、農耕が始まって以来のものとなる。しかし、土壌という渾沌を渾沌のまま扱い、食糧を供給してきたこれまでの農業技術の実績を軽視してはなるまい。そうした技術の蓄積のうえに、新たな何かしらの技術的要素を積み上げられたらと思う。しかしそれはわずかな人数の研究者だけでは足りない。本研究はおそら

く、非常にすそ野の広い研究分野となるだろう。多くの研究者の参画とご協力をお願いしたい。

文献

- 1) FAO: 2018 FAO Statistical Databases. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). <http://apps.fao.org/> (2018).
- 2) 宮田尚稔, 池田英男: “養液土耕と液肥・培地管理”, 博友社, 2005, p. 119.
- 3) 久馬一剛: “土とは何だろうか?”, 京都大学学術出版会, 2005.
- 4) 久馬一剛: “新土壌学”, 朝倉書店, 1984.
- 5) 篠原 信: 土と微生物, **72**, 22 (2018).
- 6) G. S. Puritch & A. V. Barker: *Plant Physiol.*, **42**, 1229 (1967).
- 7) M. Shinohara, C. Aoyama, K. Fujiwara, A. Watanabe, H. Ohmori, Y. Uehara & M. Takano: *Soil Sci. Plant Nutr.*, **57**, 190 (2011).
- 8) 高橋令二, 佐藤一朗, 徳山龍明: 化学と生物, **44**, 439 (2006).
- 9) J. B. Jones Jr.: *J. Plant Nutr.*, **5**, 1003 (1982).
- 10) G. R. Stutte: *Life Support Biosph. Sci.*, **3**, 67 (1996).
- 11) J. L. Garland, M. P. Alazraki, C. F. Atkinson & B. W. Finger: *Acta Hort.*, **469**, 71 (1998).
- 12) 布川弥太郎, 合瀬健一: 日本醸造協会雑誌, **71**, 645 (1976).
- 13) 古川壮一, 平山 悟, 深瀬 栄, 荻原博和, 森永 康: 生物工学, **89**, 478 (2011).
- 14) 岩井重久: 環境技術, **11**, 136 (1982).
- 15) R. F. Strayer, B. W. Finger & M. P. Alazraki: *Adv. Space Res.*, **20**, 2009 (1997).
- 16) K. Fujiwara, Y. Iida, N. Someya, M. Takano, J. Ohnishi, F. Terami & M. Shinohara: *J. Phytopathol.*, **164**, 853 (2016).
- 17) K. Fujiwara, C. Aoyama, M. Takano & M. Shinohara: *J. Gen. Plant Pathol.*, **78**, 217 (2012).
- 18) 篠原 信, 藤原和樹, 佐藤達夫, 高野雅夫, 小川 順, 森川信也, 三好博子, 種村竜太, 梶田泰宏, 中村謙治, 仲谷端人: 野菜茶業研究所 成果情報 (2013).
- 19) 徳本家康, 取出伸夫, 井上光弘: 水文・水資源学会誌, **18**, 401 (2005).
- 20) 小林繁男: 研究ジャーナル, **13**, 12 (1990).
- 21) 澤辺智雄, 穴戸雅宏, 吉永郁生: 日本微生物生態学会誌, **23**, 73 (2008).
- 22) H. Wada: *Biol. Sci. Space*, **21**, 135 (2007).
- 23) 島 隆則: 化学と教育, **62**, 350 (2014).
- 24) 望月龍也, 篠原 信, 鈴木康夫: http://www.naro.affrc.go.jp/publicity_report/press/laboratory/vegetea/028228.html (2012).
- 25) 川尻美智子, 美園 繁: 日本土壌肥科学雑誌, **32**, 71 (1961).
- 26) 篠原 信: 野菜茶業研究所ニュース, **54**, 2 (2015).
- 27) 竹内絵美, 内田真理子, 小野里奈, 野村暢彦, 中島敏明, 内山裕夫: 環境バイオテクノロジー学会誌, **10**, 115 (2010).
- 28) 横山和成: 化学と生物, **54**, 623 (2016).
- 29) 篠原 信, 吉田賢啓, 岡田若子, 宇佐美晶子, サクンタラサイジャイ, 安藤見規, 宮本憲二, 加藤康夫, 小川 順, 高野雅夫: 日本農芸化学会大会講演要旨集, p. 1216 (2018).
- 30) A. Beneduzi, A. Ambrosini & L. M. P. Passaglia: *Genet. Mol. Biol.*, **35**(4) (suppl), 1044 (2012).
- 31) 篠原 信: 土と微生物, **72**, 22 (2018).
- 32) K. Fujiwara, Y. Iida, T. Iwai, C. Aoyama, R. Inukai, A. Ando, J. Ogawa, J. Ohnishi, F. Terami, M. Takano *et al.*: *MicrobiologyOpen*, **2**, 997 (2013).
- 33) Y. Nakano, S. Watanabe, K. Okano & J. Tatsumi: *J. Jpn. Soc. Hort. Sci.*, **71**, 683 (2002).
- 34) 後藤真生: 化学と生物, **38**, 248 (2000).
- 35) K. Masahata, E. Umemoto, H. Kayama, M. Kotani, S. Nakamura, T. Kurakawa, J. Kikuta, K. Gotoh, D. Motooka, S. Sato *et al.*: *Nat. Commun.*, **5**, 3704 (2014).

プロフィール

篠原 信 (Makoto SHINOHARA)

＜略歴＞1995年京都大学卒業／2000年同大学 博士(農学)／同年富山県立大学生物工学研究センター助手／2001年独立行政法人農業技術研究機構野菜茶業研究所／2015年国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構, 現在に至る＜研究テーマと抱負＞子孫が大きな破綻を経験せずにソフトランディングできる技術開発を進めたい＜趣味＞剣道, 子育て, 哲学, 意見発信, 執筆

Copyright © 2021 公益社団法人日本農芸化学会

DOI: 10.1271/kagakutoseibutsu.59.144