

プロバイオポニックス技術による養液栽培の農産物

Agricultural products by hydroponics using PROBIOPONICS technology

1 適用範囲

この規格は、プロバイオポニックスの技術を用い、バイオマスを窒素源として活用した養液栽培によって生産される農産物（飲食料品及び観賞用の植物に限る。）について規定する。

2 引用規格

この規格には、引用規格はない。

3 用語及び定義

この規格で用いる主な用語及び定義は、次による。

3.1

無機養分

硝酸、リン酸などの植物が吸収可能であり、その生育に有効な無機成分

3.2

微量元素

無機養分のうち、ホウ素、マンガン、鉄、銅、亜鉛、モリブデン、塩素及びニッケル

3.3

従属栄養微生物

有機物を分解する微生物

注釈 1 有機態窒素を分解しアンモニアを生成することが多い。

3.4

硝化菌

アンモニアを亜硝酸に、又は亜硝酸を硝酸に変換する微生物

注釈 1 硝化菌は、*Nitrosomonas* 属、*Nitrobacter* 属等をはじめとする、アンモニア又は亜硝酸を酸化することでエネルギーを得る独立栄養微生物の総称である。

3.5

微生物群

従属栄養微生物及び硝化菌で構成された微生物の一群

3.6

無機化作用

有機物を分解して、無機養分の形態にする作用

3.7

培地

土の代わりに植物の根を支えるもの

注釈1 ロックウール等が挙げられる。

3.8

培養液

添加された有機物と、それが分解されて生じる無機養分を含んだ水溶液

3.9

養液栽培

土を使わず、培地や培養液中に根を張らせ、根に無機養分を与えることによって農産物を生産する栽培技術

3.10

化石燃料

化石となった有機物のうち、燃料として用いられるもの

注釈1 石油、石炭、天然ガス等が挙げられる。

3.11

バイオマス

生物に由来する有機物である資源（化石燃料を除く。）

注釈1 鰹の煮汁、とうもろこし浸漬液~~家畜排せつ物~~等が挙げられる。

3.12

プロバイオポニックス

微生物群の無機化作用によって、培養液中に加えた有機物中の窒素成分を無機養分に変換し、植物による吸収を可能にした養液栽培

注釈1 附属書 A 参照。

4 要求事項

4.1 一般

本規格によって生産される農産物は、プロバイオポニックスによって生産されるよう管理されなければならない。

4.2 生産行程における区分管理

4.2.1 バイオマス及びバイオマス由来の資材の区分管理

バイオマス及びバイオマス由来の資材は、バイオマス及びバイオマス由来の資材以外のものと区分して管理されなければならない。

4.2.2 培養液の区分管理

培養液は、4.3 の要求事項を満たさない培養液と区分して管理されなければならない。

4.2.3 農産物の区分管理

農産物は、この規格に適合しない農産物と混合しないように区分して管理されなければならない。

注記1 農産物の栽培管理のほか、栽培管理後から出荷されるまでの間も含まれる。

注記2 この規格に適合しない農産物には、土耕栽培によって生産された農産物及びプロバイオポニックス技術以外の養液栽培によって生産された農産物を含む。

4.3 培地又は培養液中の微生物群の管理

微生物群は、培地又は培養液中で活性のある状態で生息するよう管理されなければならない。

注記1 活性のある状態とは、有機物を分解し無機養分を生成することができる状態である。このことは、農産物が適切に生育していることによって確認することができる。

注記2 微生物群の多くは、培地においては培地内部又は表面、培養液中においては培養液タンク内面、栽培槽表面又は植物根表面に生息している。

4.4 培養液中の無機養分の管理

培養液中の無機養分について、次の要求事項を満たすよう管理されなければならない。

a) **窒素成分** バイオマス由来であること。

b) **リン、カリウム、カルシウム及びマグネシウム成分** バイオマス、鉱物資源（りん鉱石、加里鉱石等）又は海水由来であること。

注記1 畜産物由来のバイオマスを使用する場合にあつては、BSEに関する肥料規制（肥料取締法施行規則等）に留意する。

注記2 微量要素を補う目的で施用する最低限量の資材に含まれるものは除く。

注記3 海水由来の一例として、にがり挙げられる。

附属書 A

(参考)

プロバイオポニックス

A.1 一般

この附属書は、プロバイオポニックスの技術について参考として情報を提供するものである。

A.2 養液栽培とは

養液栽培とは、土を使わず、培地や培養液中に根を張らせ、根に無機養分を与えることによって農産物を生産する栽培技術である。養液栽培のうち、ロックウール等の培地に根を張らせるものを培地耕栽培（図 A.1）と、また、培地を使わず培養液中に根を張らせるものを水耕栽培（図 A.2）という。

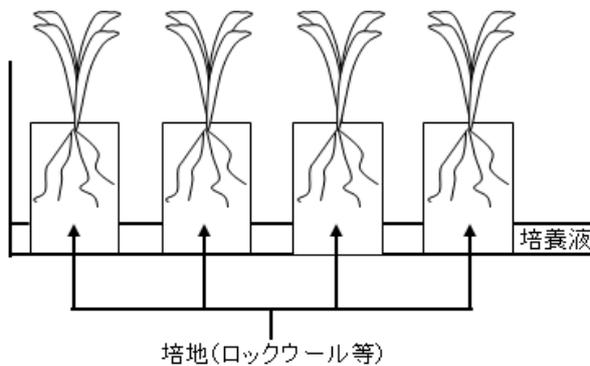


図 A.1—培地耕栽培の例

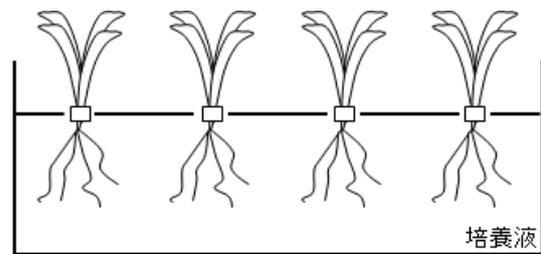


図 A.2—水耕栽培の例

養液栽培は、土耕栽培と比較して、高単位収量、気象災害の影響を受けにくく災害等による被害からの早期復旧が可能、計画生産がしやすい、新規就農者にとって取り組みやすい等のメリットがあり、普及が進んでいる。一方、従来の養液栽培では、化石燃料（原油、天然ガス等）で製造した窒素肥料しか窒素源として使用できず、化石燃料の枯渇による持続可能性が懸念されており、化学肥料の代わりに有機物を窒素源として用いることが望まれている（表 A.1）。

表 A.1—土耕栽培，従来の養液栽培及びプロバイオニックスの比較

	土耕栽培	従来の養液栽培	プロバイオニックス
栽培方法	土耕	養液	養液
窒素源	化学肥料，バイオマス（有機物）	化学肥料	バイオマス（有機物）
単位収量	△	◎	○
気象災害の影響の受けにくさ・災害等による被害からの早期復旧	△	○	○
計画生産のしやすさ	△	○	○
取り組みやすさ	△	○	○
環境負荷低減・持続可能性配慮（化石燃料の削減）	×～◎	×	◎
根部の病害への強さ	×	×	○
記号説明 ◎：優良 ○：良 △：やや不良 ×：不良			

養液栽培において有機物を窒素源として用いるためには、大きな技術的課題があった。土壌中における有機物の有機態窒素は、主に、従属栄養微生物によるアンモニア化成及び硝化菌による硝酸化成の2段階で硝酸まで分解される。硝酸はその後、3段階目の分解に進み、脱窒菌によって還元されて窒素ガスとして大気に放出されることがある（図A.3）[3]。

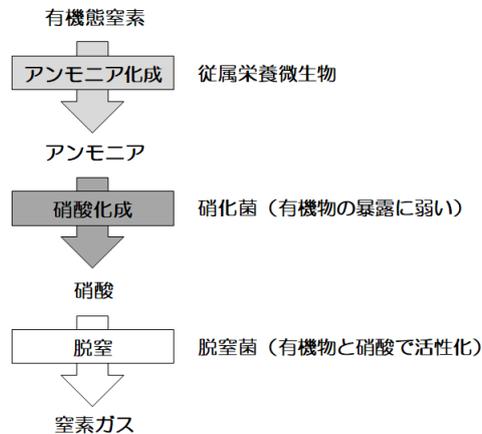


図 A.3—有機物（有機態窒素）の分解過程

2段階目の硝酸化成を担う硝化菌は、水中で有機物の成分に触れると不活性化され、活動しなくなる性質がある。このため、水中に有機物を加えると、1段階目のアンモニア化成までしか分解が進まず、水が腐敗した状態とどまる。トマト、ほうれんそう、きゅうりなどの多くの農産物は、好硝酸性植物といい、硝酸を吸収できないと健全に育たない。また、腐敗した水では根が傷害を受け、植物の生育が悪化、あるいは枯死してしまう。過去に、このことに気づいた世界中の研究者らが、腐敗した水に硝化菌を加えて硝酸に変えようと試みたが、多量に残存した有機物によって、硝化菌がダメージを受けて完全に活性を失ってしまい、“水が腐敗した状態”から抜け出すことができなかった。

A.3 プロバイオニックスとは

2005年、独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構野菜茶業研究所（現、国立研究開発法人農業・食品産業技

術総合研究機構野菜花き研究部門、以下“農研機構”という。)は、硝化菌にとって毒となる有機物であっても、少しずつ与えれば馴れてくるのではないかという発想のもとに、“馴化培養”という手法を試みたところ、水中でもアンモニア化成及び硝酸化成が同時並行的に進むことを確認した[1][2]。少量の有機物を初期にだけ添加すると、硝化菌はダメージを克服して生き残る(初期の4日間程度)。アンモニアが生成し始めるのと並行して有機物は分解されて減っていく。それによって硝化菌へのストレスが減り、硝化菌はアンモニアを亜硝酸経由で硝酸に変え、エネルギーを得て増殖する。アンモニアがすべて硝酸に変化した頃には有機物のほとんどが分解される。このため、脱窒菌は有機物をエネルギーとして利用できず、脱窒を抑えることができる(図A.4)[3]。

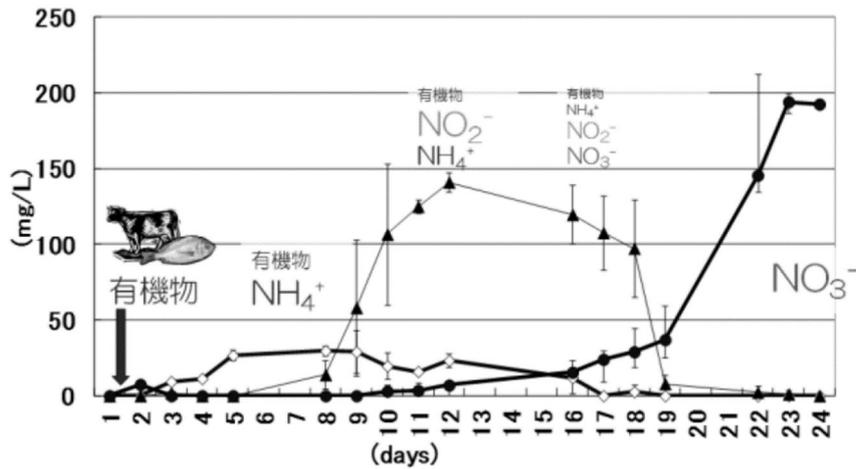


図 A.4—水中でのアンモニア、亜硝酸及び硝酸の生成

また、いったん硝化菌が活性化した培養液であれば、かなり大量の有機物を加えても硝化菌はダメージを受けにくくなり、有機物を直接添加しながら養液栽培することが可能となった。

農研機構は、この新技術による養液栽培を“プロバイオポニックス”と命名した(図A.5)。プロバイオポニックスは、プロバイオティクス(人体に良い影響を与える微生物、又は、それらを含む食品)とハイドロポニックス(水耕栽培、養液栽培)を掛け合わせた造語である。

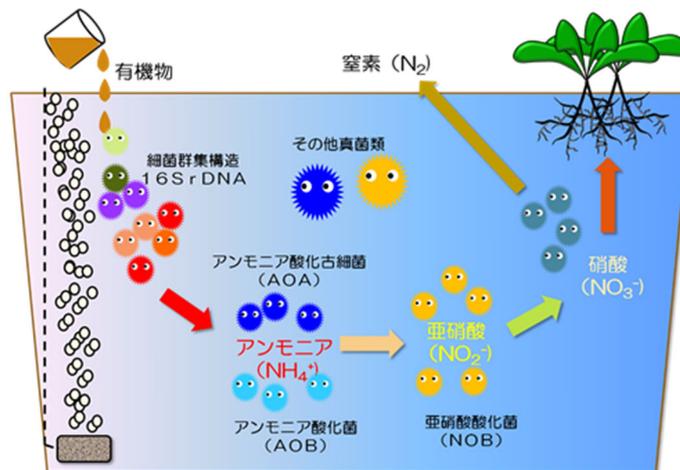


図 A.5—プロバイオポニックスの概要

プロバイオポニックスは、従来の養液栽培が有する特性(高単位収量、気象災害の影響を受けにくく災害等による

被害からの早期復旧が可能、計画生産がしやすい、新規就農者にとって取り組みやすい。)に加え、用いる窒素源をバイオマス [生物に由来する有機物である資源 (化石燃料を除く。)] に限定することによって、カーボンニュートラル等の環境負荷低減を実現する持続型の養液栽培を推進することができる技術である。また、プロバイオポニックスは、青枯病や病原性フザリウムによる根部の病害にも強いという性質も併せ持っている (表 A.1)。

現在、プロバイオポニックスによって、みずな、みつば及びびれタスといった葉菜類やいちご及びトマトといった果菜類の栽培が実用化されている。

A.4 プロバイオポニックスの基本的な操作

A.4.1 栽培前工程 (耕水工程)

水中でも有機物を無機養分に分解できるように、あらかじめ微生物を培養する。土壌と有機物 (鰹煮汁又はとうもろこし浸漬液) を加え、2週間~4週間ほどばっき (曝気) すると、水中微生物生態系が構築される。微生物資材を用いると工程の期間を短縮することができる (図 A.6 の a)。

注記 ばっき (曝気) とは、空気と排水を接触させて酸素を供給することで、水質を浄化する微生物に酸素を供給する基本的な方法のことを言う。

A.4.2 栽培工程

栽培前工程 (耕水工程) で培養した微生物の培養液を、養液栽培の溶液の一部として 1 割以上加える。以後、有機物を培養液に直接加えながら栽培することができる (図 A.6 の b)。

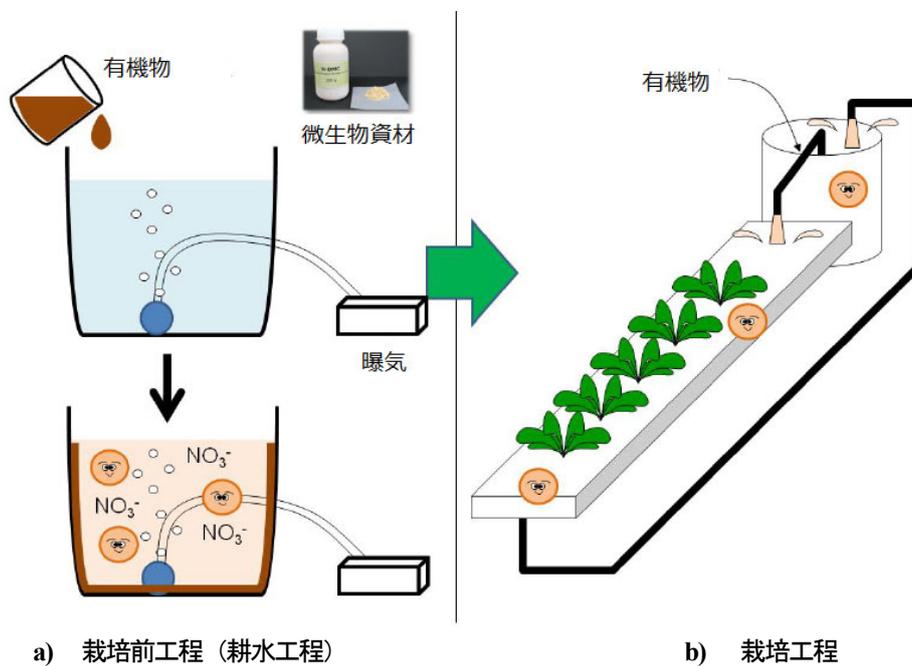


図 A.6—プロバイオポニックスの基本的な操作

A.5 プロバイオポニックスの実施例

A.5.1 一般

プロバイオポニックスに初めて取り組む者のために、農研機構から“有機質肥料活用型養液栽培マニュアル”が公開されている[4]。プロバイオポニックスの実施例として、当該マニュアルの“初心者マニュアル”の部分を抜粋して紹介する。

A.5.2 材料

a) プランター (図 A.7)

注記1 水容量が 15 L 程度であって、50 cm×25 cm×20 cm 程度のもの。ビニールテープや布テープを内側と外側に貼り、水漏れしないよう穴をふさいでおく。

注記2 水深が深めのプランターの方がばっき（曝気）の効率がよくなり、水中の溶存酸素濃度が高くなる。同じ 15 L でも、水深が浅めのコンテナなどだとばっき（曝気）の効率が悪く、培養液の流れも悪くなり淀みができやすく、栽培が失敗しやすくなる。



図 A.7—プランター

b) 発泡スチロールの板 (図 A.8)

注記3 プランターに満たした水に浮かべるもの。あらかじめ、苗を植える穴（直径 2 cm 程度）をコルクボーラーなどで開けておく。



図 A.8—発泡スチロールの板

c) ウレタンマット (図 A.9)

注記4 定植時に苗を包むもの。



図 A.9—ウレタンマット

d) エアーポンプ

注記5 チューブとエアーストーンが同包されているもの。

e) 水切り袋

注記6 生ゴミ用の不織布タイプのもの。

f) タコ糸

g) 遮光用ビニール

h) アンモニア測定用試験紙

- i) 亜硝酸測定用試験紙
- j) 硝酸測定用試験紙
- k) 土壌
注記7 植物病原菌が付着している恐れのないもの。
- l) 有機物（鰹煮汁）
- m) 有機石灰
- n) 天然有機カリ

A.5.3 方法

A.5.3.1 栽培前工程（耕水工程）

- a) プランターに水を張り（約15L）、水切り袋に土壌150gを入れてタコ糸で口を縛り、紅茶のティーバッグのようにして水に浸す（図A.10）。

注記1 土壌の代わりに微生物製剤を代わりに用いてもよい。耕水工程に必要な日数を4日～7日程度に短縮できる。



図 A.10—栽培前工程（耕水工程）の a)

- b) エアーポンプで水をばっき（曝気）する。
- c) 有機物（鰹煮汁）10g（小さじ2杯弱）を加える（図A.11）。



図 A.11—栽培前工程（耕水工程）の c)

- d) 発泡スチロールのフタをして（図A.12のa）、遮光用ビニールなどで光が入らないように被覆し放置する（図A.12のb）。

注記2 耕水工程を終えるのに25℃で2週間～3週間ほどかかる。冬季は金魚用のヒーターで水温を25℃に維持すれば、より確実に耕水工程を終えることができる。耕水工程での水温は20℃～37℃で管理するのが望ましい。耕水工程を終えた培養液は、光の当たらない涼しい場所であれば半年以上保管することが可能である。



a) 発泡スチロールのフタをしたところ



b) 遮光用のビニールで被覆したところ

図 A.12—栽培前工程（耕水工程）の d)

- e) 硝酸測定用試験紙を用いて培養液中の硝酸イオンを確認し、硝酸イオンが検出されたら土袋を培養液から除去する。
- 注記3** アンモニア、亜硝酸、硝酸を測定することが望ましい。
- 注記4** 土壌を培養液に浸したままにすると、葉菜の場合にはチップバーン（葉の辺縁部がコルク状になる症状）が発生しやすくなるので必ず除去する。
- f) 硝酸イオンの濃度が 100 mg/L 以上、アンモニウムイオンが 10 mg/L 以下であることが確認できたら耕水工程は終了となる（25℃の水温でおよそ2週間～3週間ほどかかる。）。耕水（耕水工程で作製した培養液）は、次の栽培工程で用いる。

A.5.3.2 栽培工程

A.5.3.2.1 定植

- a) 耕水中のアンモニア濃度が 10 mg/L 以下、硝酸濃度が 100 mg/L～200 mg/L 程度であれば、培養液として使用することができる。
- 注記1** 耕水中の硝酸イオン濃度は 100 mg/L～200 mg/L 程度あれば十分である。よくある失敗は、さらに硝酸濃度を高めようとして有機物を追加してしまうケースである。有機物を追加する行為は、脱窒（硝酸が窒素ガスとなって抜けてしまう現象）を促進するので、硝酸を高めるどころか、逆に低下させる。
- b) 有機石灰 150 g を水切り袋に入れて培養液に浸す。
- 注記2** 揺すらずに静かに浸した方が微量元素の溶解が進む。
- c) 発泡スチロールの板に苗を植える。サラダナの苗をウレタンで優しく包み、植え穴に差し込む。発泡スチロール板をプランターに浮かべたとき、根が水に浸るようにする。この場合、1プランターに12株を定植する（図 A.13）。
- 注記3** バーミキュライトを充填したセルトレーに播種し、10日ほど育苗したものをを用いる。定植前に根に付着したバーミキュライトを水洗いして落とし、ウレタンで包んで定植するとよい。



図 A.13—栽培工程の c)

A.5.3.2.2 施肥管理 (図 A.14)

- a) 苗を定植して4日後に0.4gの鰹煮汁を培養液に添加する(1株あたり2mgN)。以後は毎日、同量の有機物(鰹煮汁)を添加する。
- b) 苗の葉の長さが3cm~4cmに伸びたら鰹煮汁0.8g(1株あたり4mgN)を毎日添加する。
注記1 鉄欠乏の症状(古い葉と比べ、新しい葉の色が黄色い。)が出たら有機石灰の袋を水中で軽く揺する。葉色が葉脈から回復する。
注記2 有機物の種類を栽培途中で変更すると微生物生態系が壊れ、作物の生育が急速に悪化する。耕水工程で使った有機物と同じもの(この場合、鰹煮汁)を使用すること。
- c) 水が減ってきたら、随時補給する。
- d) 定植して1ヶ月ほどしたら収穫する。



図 A.14—施肥管理

参考文献

- [1] SHINOHARA, M. Hydroponics with organic fertilizers - a method for building an ecological system of microorganisms in culture liquid by a parallel mineralization method. *Agriculture and Horticulture*, 2006, 81, 753 - 764
- [2] SHINOHARA, M., AOYAMA, C., FUJIWARA, K., WATANABE, A., OHMORI, H., UEHARA, Y. and TAKANO, M. Microbial mineralization of organic nitrogen into nitrate to allow the use of organic fertilizer in hydroponics. *Soil Science and Plant Nutrition*, 2011, 57 (2), 190 - 203
- [3] 野菜茶業研究所ニュース 54号 (2015.03) [online], 平成27年3月発行, 独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構野菜茶業研究所, Available from:
https://www.naro.go.jp/publicity_report/publication/archive/files/vegeteanews54_20150309_s.pdf
- [4] 有機質肥料活用型養液栽培マニュアル (第1版) [online], 平成26年6月第1版発行, 独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構野菜茶業研究所, Available from:
https://www.naro.go.jp/publicity_report/publication/files/vt_youekisaibai_manual_20140616.pdf