

アーバスキュラー菌根菌を活用した作物生産の確立

磯部 勝孝

(日本大学生物資源科学部)

E-mail : isobe64@brs.nihon-u.ac.jp

はじめに

現在、リン肥料はリン鉱石を原料として生産されている。しかし、リン鉱石はこのまま採掘を続けると近い将来枯渇することが予想されており(小田部, 1982), 今後の作物生産では新しいリンの供給法を確立することが重要になると推察される。リンは土壤中で移動しにくい元素の一つで根の表面からわずか数ミリ離れただけでも吸収されない。しかし、作物の根にアーバスキュラー菌根菌(以下、AM 菌)が感染すると根の表面から外生菌糸を伸ばして作物の根では吸収できないところからもリンを吸収して宿主作物に供給する(Mosse, 1973; Sanders and Tinker, 1971)。その結果、AM 菌が感染すると作物の生育や収量が良好になることがある。このようなことから作物生産における AM 菌の利用は作物への新たなリン供給法として注目されている。

世界中で栽培されている農作物の種数は約 2300 種になる。農作物のうち人間の主食または主食に準ずるものを生産する作物を食用作物と言い、世界中で栽培されている食用作物の種数は約 200 種ほどである。このうちイネ科とマメ科に属するものはそれぞれ 30 %を超え、両者を合わせると全食用作物の3分の2近くなる。さらに家畜のエサとなる飼料作物のほとんどがイネ科とマメ科作物である。このようなことから、イネ科とマメ科作物は我々の食資源として最も重要な作物の一つと言えよう。そこで種々のイネ科、マメ科作物の収穫物の産出において AM 菌を効果的に活用する方法について検討した。

AM菌の感染によってに生育が著しく促進される作物

種々の作物に AM 菌を接種すると宿主作物の生育は促進されるが、作物によって生育促進の程度は異なる。作物生産において AM 菌を効果的に活用するにはどのような作物で生育が促進されるか明らかにする必要がある。そこで種々のイネ科、マメ科作物に AM 菌を接種して作物間での生育促進の違いを比較するとともに生育促進が異なる原因について検討した。

AM 菌をオカボ、ソルゴー、シコクビエ、インゲンマメ、アズキおよびダイズに接種したところいずれの作物も収穫量(ソルゴーは地上部を、他の作物は穀実(子実)を収穫物とした)が増大した。しかし、非接種区に対する AM 菌接種区の収穫量の割合は作物によって異なり、オカボ、ソルゴー、シコクビエなどのイネ科作物に比べ、インゲンマメ、アズキ、ダイズなどのマメ科作物のほうが収穫物の増大が著しかった(第1表)。そこで各作物の AM 菌感染状況を比較したところ、オカボ、ソルゴー、シコクビエに比べ

インゲンマメ、アズキ、ダイズなどのマメ科作物のほうが AM 菌感染率が高かった。このことからインゲンマメ、アズキ、ダイズで AM 菌接種時に収穫量が著しく増大したのは AM 菌がよく感染したことが一因であると考えられた。AM 菌は

第1表 AM 菌の接種が種々の作物の収穫量に及ぼす影響。

| 試験区 | イネ科作物 | | | マメ科作物 | | |
|--------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| | オカボ | ソルゴー | シコクビエ | インゲンマメ | アズキ | ダイズ |
| 非接種 | 7.4 | 92.7 | 4.9 | 0.6 | 0.9 | 3.9 |
| AM 菌接種 | 8.5 | 94.8 | 7.4 | 3.8 | 2.9 | 11.0 |
| | (114.9) | (102.3) | (151.0) | (633.3) | (322.2) | (282.1) |

注) : ソルゴーの収穫量は地上部生体重を、他の作物は穀実(子実)重(g/個体)を示す。

カッコ内の数値は非接種区の収穫量に対する接種区の相対値。

作物体内のリン濃度が高くなると感染しにくくなるが、これは AM 菌の感染を促進すると考えられ

ているアミノ酸や糖の根からの分泌量が減少することが一因と考えられている (Dixon et al., 1998 ; Graham et al., 1981). また, 植物色素の一種であるフラボノイドは AM 菌の胞子発芽や菌糸の伸長に影響を及ぼすことも明らかにされている (Beard et al., 1992 ; Tsai and Phillips, 1991). そこで根から分泌されるアミノ酸, 糖およびフラボノイドの量を調べたところ, インゲンマメやダイズなどのマメ科作物はオカボ, ショクビエなどのイネ科作物に比べこれらの物質を多く分泌していることが明らかになった. このことから作物間で AM 菌の感染率が異なったのは根から分泌されるアミノ酸や糖, フラボノイド量の違いが関与していると推察された.

AM 菌が感染したときに宿主作物の生育が促進されるのは AM 菌の吸収したリンが宿主作物に供給され, 宿主作物のリン栄養状態がよくなることが主要因である. したがって生育により多くのリンを必要とする作物ほど AM 菌接種の効果が著しいと考えられる. そこでオカボ, コムギ, ソルゴー, オオムギ, ショクビエのイネ科作物とインゲンマメ, シロクロバ, ササゲ, アズキ, ダイズのマメ科作物を添加するリンの量を段階的にして育てた. その結果, いずれの作物もリンの添加量が増えると地上部乾物重が増大し, ある一定量以上になると乾物重は増大しなくなった. ただし, マメ科作物に比べ, オカボ, コムギ, ソルゴー, オオムギ, ショクビエなどのイネ科作物は添加したリンの量が少ない段階で一定となった (第2表). 供試したイネ科作物の根はマメ科作物に比べ根毛の発達が著しく, 地上部乾物重に対する全根長の割合が大きいなど土壤中からリンを吸収するのに有利な形態をしていた. このことからインゲンマメ, シロクロバ, ササゲ, アズキ, ダイズなどのマメ科作物はイネ科作物に比べ根がリンを吸収するのに不利な形態をしているが, 同時にこれらの作物は根からアミノ酸, 糖, フラボノイドなどを多く分泌して AM 菌の感染を促進させているのではないかと考えられた. すなわち, インゲンマメやダイズなどのマメ科作物はイネ科作物に比べリンの吸収や生育において AM 菌依存度が高く, AM 菌感染時の生育促進が著しい作物と考えられる.

第2表 リン添加量の違いが種々の作物の地上部乾物重に及ぼす影響.

| リン添加量(mg) | イネ科作物 | | | | | マメ科作物 | | | | |
|-----------|-------|-------|--------|-------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|
| | オカボ | コムギ | ソルゴー | オオムギ | ショクビエ | インゲンマメ | シロクロバ | ササゲ | アズキ | ダイズ |
| 0.0 | 0.78b | 0.13b | 0.13b | 0.17b | 1.25b | 0.43c | 0.02c | 0.12d | 0.35c | 1.72c |
| 22.8 | 3.37a | 3.22a | 9.48a | 2.12a | 14.92a | 1.07b | 0.82b | 0.54c | 1.38b | 3.13b |
| 45.7 | 4.30a | 3.39a | 10.21a | 2.00a | 16.01a | 1.54a | 1.34a | 5.74b | 3.70a | 4.10a |
| 68.6 | 3.89a | 3.19a | 11.46a | 1.78a | 18.18a | 1.66a | 1.34a | 6.93a | 3.71a | 4.03a |

注): 単位は, g/個体.

同一アルファベット間には, Newman-Keuls 法 (5%レベル) における有意差がないことを示す.

前作の違いが後作インゲンマメの生育に及ぼす影響 —特にAM菌に着目して—

同じ作物を連作すると生育や収量が減少することは多くの作物で認められている. また, 前作の違いによって後作の生育や収量が異なることがある. このような現象が生じる原因は土壤中の特定元素の減少, アレロパシー物質の関与, センチュウの増大などが考えられている (古谷・久木井, 1956 ; 浦野ら, 1961). しかし, すでに述べたように作物の種類によって AM 菌の感染状況は異なり, このことは前作の違いは土壤中の AM 菌密度, 後作の AM 菌感染率や生育に影響を及ぼすことを示唆する. そこで AM 菌の一種 *Gigaspora margarita* の偽接合胞子を接種した土壌をワグネルポットに充填し, そこでオオムギ, ソラマメ, タマネギ, ナタネを栽培し, その後さらにインゲンマメを播種して前作の違いが後作インゲンマメにおける AM 菌感染率と生育に及ぼす影響を検討した.

同じ数の AM 菌胞子を接種しても前作が異なると後作インゲンマメにおける AM 菌感染率は著しく異なった (第3表). すなわち, 供試した中ではオオムギを前作とした場合に後作インゲンマメの AM 菌感染率が最も高く, AM 菌が感染しないと言われているアブラナ科植物のナタネで最も低くなった. このことから前作として導入する作物が異なると後作の AM 菌感染率にも違いが生じることが明らか

第3表 前作の違いが後作インゲンマメの AM 菌感染率に及ぼす影響.

| 前作物 | 調査日 (播種後日数) | |
|------|-------------|-------|
| | 38 日目 | 48 日目 |
| オオムギ | 12.6 | 25.3 |
| ソラマメ | 10.4 | 12.5 |
| タマネギ | 4.4 | 5.6 |
| ナタネ | 1.2 | 5.2 |

注) : 単位は%.

育の差は AM 菌感染率の違いが影響していることを示唆する. このことから前作の違いによって後作の生育に差が生じる原因は従来言われてきた要因の他に前作の AM 菌への影響もあることが明らかになった. 以上のことから作物生産のなかで AM 菌を効果的に活用していくには作付体系や導入する作物の種類にも考慮し, AM 菌の感染が高まるような作物を選択する必要があると考えられた.

になった. 特に, 前作に AM 菌の宿主とならないアブラナ科植物などを導入すると後作における AM 菌の感染率が著しく低下する. これは前作の AM 菌感染状況が後作における AM 菌の感染に影響を及ぼすからと考えられる.

第4表に後作インゲンマメの生育状況を示した. 前作にオオムギやソラマメを導入した場合にインゲンマメの生育は最もよく, ナタネを前作とした場合が最も劣っていた. 各区の AM 菌感染率とインゲンマメの生育を比べると概ね感染率の高い区で生育もよかった. このことは後作インゲンマメに生じた生育

第4表 前作の違いが後作インゲンマメの生育に及ぼす影響.

| 前作物 | 主茎節数 | 分枝数 | 葉面積 (cm ²) | 地上部乾物重 (g) |
|------|------|-----|---------------------------|---------------|
| オオムギ | 4.1 | 1.1 | 394.1 | 0.62 |
| ソラマメ | 4.1 | 1.2 | 313.7 | 0.57 |
| タマネギ | 3.9 | 0.9 | 232.0 | 0.44 |
| ナタネ | 3.4 | 0.5 | 230.8 | 0.42 |

注) : 数値はいずれも個体当たり.

AM 菌の人工培養は今のところ成功には至っていない. 従って, AM 菌を増やすには必ず植物の根を介すことが必要となる. その結果, 作物生産に AM 菌を活用する場合この菌を定期的に土壤に接種することは経済的にも困難であると思われる. しかし, 上記の実験結果からも推察されるように作付体系や導入する作物を考慮すれば AM 菌の感染による作物の生育促進を得ることが可能と考えられる. ただし, 今回の実験はすべて滅菌土壌とポットを用いて行っている. AM 菌は土壤に接種すると土着の AM 菌と競合し接種した AM 菌が定着しないことがある. したがって, 今後は土壤中の AM 菌密度を維持させるような作付体系について圃場レベルでも試験を重ねる必要がある.

おわりに

先日, 宮崎県椎葉村を訪れる機会に恵まれた. 椎葉村のある農家では作物の栽培にあたって化成肥料は一切使わず, もっぱら有機物の投入と経験的に得た作付体系によって地力を維持し, 作物生産を行っていた. そしてこの栽培方法は 800 年の昔からほとんどかわっていないとのことである. 帰京の際, 畑の土壌を分けていただき, 研究室に持ち帰って土壌中の AM 菌胞子数を調べてみた. 驚いたことにこの農家の土壌は化成肥料を使用して作物栽培を行っている畑の土壌に比べ, AM 菌胞子が著しく多かった. 特に, ダイズ畑の土壌からは非常に多くの *Gigaspora* 属菌の胞子が見いだされた. このことから, 化成肥料が普及する以前, 日本各地の畑土壌には今とは比べものにならないくらい多くの AM 菌の胞子が存在していたのではないかと考えた. このような状態の畑で栽培した作物の根には AM 菌がよく感染し, 作物生産における AM 菌の寄与率は化成肥料に依存する作物生産に比べ著しく高いと推察される. しかし, 化成肥料の普及と共に土壌中の AM 菌密度が減少し, 同時にこの農家が会得しているような経験則も忘れられてしまったのではないか. 世界各地には椎葉村のこの農家のように過去の経験に基づき作物栽培を行っている地域が数多くあると思われる. そのような地

域の作物生産を科学的に解析することによって我々がまだ知らない生物の機能を明らかにすることができるのではないか。

引用文献

- Becard, G., D. D. Douds and P. E. Pfeffer 1992. Extensive *in vitro* hyphal growth of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi in the presence of CO₂ and flavonols. *Appl. Environ. Microbiol.* 58:821 – 825.
- Dixon, R.K., H. E. Garrett and G. S. Cox 1988. Carbohydrate relationships of *Citrus jambhiri* inoculated with *Glomus fasciculatum*. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 113:239 – 242.
- 古谷義人・久木井基二 1956. 畑作物の種類による跡地土壌の変化並びに後作への影響 第4報冬作物の種類による後作物の生育収量. 九州農業試験場彙報 3:413 – 419.
- Graham, J.H., R. T. Leonard and J. A. Menge 1981. Membrane-mediated decrease in root exudation responsible for phosphorus inhibition of vesicular-arbuscular mycorrhiza formation. *Plant Physiol.* 68:548 – 552.
- 小田部廣男 1982. 世界のリン資源とわが国の農業. 農及園 57:126 – 132.
- Mosse, B. 1973. Advances in the study of vesicular-arbuscular mycorrhiza. In Baker, K.F., G.A. Zentmyer and E.B. Cowling eds., *Annu. Rev. Phytopathol.* 11:171 – 196.
- Sanders, F.E., P. B. Tinker 1971. Mechanism of absorption of phosphorus from soil by *Endogone* mycorrhizas. *Nature* 233:278 – 279.
- Tsai, S.M. and D. A. Phillips 1991. Flavonoids released naturally from alfalfa promote development of symbiotic *Glomus* spores *in vitro*. *Appl. Environ. Microbiol.* 57:1485 – 1488.
- 浦野啓司・小田切弘一・丸山寛治・山口利茂 1961. 輪作様式の差異が作物収量並びに地力に及ぼす影響について. 日作紀 29:143 – 146.

Establishment of crop production using arbuscular mycorrhizal fungi
Katsunori ISOBE