

## 冬作物の導入がアーバスキュラー菌根菌の密度と 後作インゲンマメの生育におよぼす影響

磯部勝孝\*・坪木良雄

(日本大学)

**要旨:** 作物栽培において接種したアーバスキュラー菌根菌 (以下, AM 菌) を長期利用するため, 冬作物が AM 菌維持と後作インゲンマメの生育におよぼす影響をポット試験で調査した. 土壤に AM 菌を接種し, そこでオオムギやエンドウを栽培すると両作物の根に AM 菌が感染し, 裸地より孢子が多くなった. その結果, 裸地よりもオオムギやエンドウを導入したほうが後作インゲンマメの AM 菌感染率は高く, インゲンマメの生育も優れた. オオムギやソラマメの栽培によって秋から春の間維持した AM 菌を後作インゲンマメの栽培に AM 菌の接種源として利用した場合, インゲンマメの AM 菌感染率や生育は, AM 菌をインゲンマメの播種時に接種した場合と差がなかった. AM 菌を接種した土壤で冬季に雑草 (ハコベ, ホトケノザ, オランダミミナグサ) を生育させると, 裸地より AM 菌の孢子数は多くなった. しかし, 冬季に雑草を生育させた場合, 後作インゲンマメの生育は, インゲンマメ播種時に AM 菌を接種した場合に比べ劣った. 以上の結果から, 冬季のオオムギやソラマメの栽培により土壤中の AM 菌の密度は翌年の春まで維持され, 維持された AM 菌は後作インゲンマメの栽培に AM 菌接種源として利用できることが明らかになった. また, 冬季の雑草の生育は, 裸地に比べ AM 菌密度の減少を抑制するが, その効果はオオムギやソラマメに比べ低かった.

**キーワード:** アーバスキュラー菌根菌, インゲンマメ, 冬作物, 孢子数.

アーバスキュラー菌根菌 (以下, AM 菌) を作物栽培に利用するには, 一度に大量の接種源を準備しなければならない (松原ら 1995, 磯部・坪木 1997). AM 菌の接種源には孢子, 菌糸および AM 菌が感染した根などがなる. しかし, 本菌は純粋培養ができず, 新しい孢子の形成は AM 菌が植物の根に感染しないと行われず, しかも増殖に時間を要する (石井ら 1995) ことから, 一度に大量の接種源を準備することは困難である. このことは, 本菌を利用した栽培法の確立を困難にしている問題のひとつでもある.

土壤中の AM 菌の密度は, 季節や栽培法によって著しく変化するが (Clapperton and Reid 1992, Kurle and Pflieger 1994, Sturmer and Bellei 1994), 一般に AM 菌の接種源となる孢子は作物の根の生長とともに増え, 開花期から成熟期に最も多くなり, その後は減少する (Hayman 1970, Sutton and Barron 1972, Saif and Khan 1975, Giovannetti 1985). しかし, AM 菌の孢子は, 植物の根を通じて形成されることから作物の栽培終了後も土壤中に他の植物の根が生存すればその後も AM 菌は根に感染して孢子形成が行われると考えられる. 実際, 過去において冬作物の導入が土壤中の孢子数を増加させたという報告がある (Harinikumar and Bagyaraj 1988, Isoi 1997). しかし, 冬作物によって維持した AM 菌孢子や冬作物の根に感染した AM 菌の後作物への感染や生育に対する影響について調査した報告はない.

そこで本報は, 土壤に接種した AM 菌を長期に利用できないか検討するため, 冬季の作物や雑草の生育が AM 菌の密度維持におよぼす影響を明らかにし, 冬作物や雑草

の導入が後作インゲンマメの生育におよぼす影響を調査した.

### 材料と方法

#### 1. 冬作物が AM 菌の維持と後作インゲンマメの生育 におよぼす影響

##### (1) 栽培概要

実験は, 1/5000 a ワグネルポットで行った. 土壤は, 日本大学生物資源科学部附属農場 (神奈川県藤沢市) の黒ボク土をオートクレーブ滅菌 (120°C で 1 時間) 後, 水分率 40% に調整して 1 ポットに 2.8 kg 充填した. この土壤の有効態リン含有量は風乾土 100 g 当たり 1.02 mg (プレイ第 2 法) であった. ポットには, *Gigaspora margarita* の偽接合孢子 510 個と本学附属農場から採取した *Glomus* 属の菌 (以下 *Glomus* sp.(y) とする) の厚膜孢子 300 個を混合して土壤の表面から 5 cm の位置に接種した. 冬作物の栽培に際し施肥は行わなかった. 1995 年 11 月 25 日にオオムギ (*Hordeum vulgare* L. emend. Lam. 品種; カシマムギ) またはエンドウ (*Pisum sativum* L. 品種; 赤花つるなし) の種子を 2 粒播きした. 試験区は, 播種した作物からオオムギ区とエンドウ区の他に AM 菌の接種のみを行い冬作物の栽培は行わなかった対照区の 3 区を設けた. 各区のポットは, 自然条件下で 3 反復を乱塊法で配置した. 各区のポットへのかん水は, 土壤の表面が乾いたら適宜行った. 冬作物は 1996 年 6 月 2 日に栽培を終了し, 同日対照区を含めたすべての試験区のポットにインゲンマメ (*Phaseolus vulgaris* L.) の種子を 3 粒播きした. 供試品種は, セリーナである. インゲンマメの育成は, 自然条

件下で行った。実験期間ポット内に発生した雑草は、適宜手で抜いた。栽培期間の気象状態は、おおむね平年並みであった。

## (2) 調査項目および調査方法

オオムギ区とエンドウ区の冬作物における AM 菌感染率、総根長、菌根長と対照区を含めた各区の AM 菌胞子数の調査は、1996 年 4 月 2 日と 6 月 2 日に行った。感染率調査の方法は、オオムギまたはエンドウの根をポットから採取し、軽く水洗いした後約 1 cm の長さに切り、この中から 100 個の切片をランダムに選んだ。選んだ根の切片は、10% KOH 溶液に入れ 30 分間煮沸し、10 倍希釈  $H_2O_2$  液で漂白後、0.05% トリパンブルー液で染色し格子付きのシャーレに入れ、格子交点法 (Giovannetti and Mosse 1980) により感染率を測定した。本実験では、根の中に AM 菌の菌糸、のう状体、樹枝状体または胞子が認められたものを感染とした。総根長は、個体全ての根を約 2 cm の切片に切り、切片を 1 cm 四方角の格子付きシャーレに入れライン交差法 (田中 1985) によって測定した。また菌根長は、上記の方法によって求めた感染率と総根長の積により求めた。

各区の胞子の採取は、各区の土壌 10 g から水洗し別・シヨ糖遠沈法 (西尾 1987) により集め、実体顕微鏡下で AM 菌の胞子を観察し *Gigaspora margarita* (Schenck and Perez 1990) または *Glomus* sp.(y) 独自の形や色をしているものを生存胞子として、その数を数えた。

インゲンマメにおける AM 菌感染率は、インゲンマメの播種後 35 日目と 55 日目に行った。材料の採取、染色および感染率測定方法は冬作物の方法と同様である。

各区のインゲンマメの生育調査は、播種後 55 日目に行った。調査項目は主茎節数、分枝数、葉面積、地上部と地下部乾物重、地上部と地下部リン濃度およびリン吸収量である。調査には 1 反復につき 6 個体のインゲンマメを用い、6 個体の平均値を反復の代表値とした。この方法は以降の実験でも同様とした。主茎節数は、主茎の本葉着生節を分枝数は主茎から発生している一次分枝数を数えた。葉面積は展開葉の葉面面積を測定した。乾物重は、各個体の子葉節より上を地上部、下を地下部とし、それぞれを 80°C で 48 時間乾燥後それぞれの乾物重を求めた。リン濃度は、乾燥させた地上部と地下部の乾物を粉碎し、それを過塩素酸で湿式灰化させバナドモリブデン酸比色法によってリンの定量を行った。

## 2. 冬作物によって維持した AM 菌とインゲンマメの播種時に接種した AM 菌が後作インゲンマメの生育におよぼす影響

### (1) 栽培概要

実験は、ポット試験で行った。設置した試験区は、オオムギ区、ソラマメ区、タマネギ区と春菌接種区である。オオムギ区、ソラマメ区、タマネギ区では、それぞれの冬作

物で AM 菌を維持し、それを翌春のインゲンマメ栽培に利用した。春菌接種区は、インゲンマメの播種時に AM 菌を接種した。オオムギ区、ソラマメ区、タマネギ区の土壌の調整は、オートクレーブで滅菌 (120°C で 1 時間) し、水分率を 40% に調整した黒ボク土 910 g に対し *Gigaspora margarita* の偽接合胞子を 1000 個接種し、これを 1/10000 a ワグネルポットに充填した。このポットには 1996 年 11 月 16 日オオムギ (*Hordeum vulgare* L. emend. Lam.), ソラマメ (*Vicia faba* L.), タマネギ (*Allium cepa* L.) の種子を 1 粒播きした。供試品種は、それぞれカシマムギ、打越一寸、OK 黄である。冬作物の栽培に際し施肥は行わなかった。各区のポットは、自然条件下に 3 反復を乱塊法で配置した。各区のポットへのかん水は、土壌の表面が乾いたら適宜行った。これらの冬作物は 1997 年 5 月 7 日に栽培を終了し、地際から作物を切除した。同日各区の作物の根を含む土壌は、1/5000 a ポットの底に入れ、さらにその上には滅菌済みの土壌と硫酸アンモニウム 2.0 g と塩化カリウム 1.0 g を加え、いずれのポットも土壌の重さを 2.8 kg に調整した。また春菌接種区は、滅菌済みの黒ボク土 2.8 kg に *Gigaspora margarita* の偽接合胞子 1000 個と硫酸アンモニウム 2.0 g、塩化カリウム 1.0 g を加えこれを 1/5000 a ポットに充填した。全ての区のポットにはインゲンマメ (*Phaseolus vulgaris* L.) の種子を 3 粒播きした。インゲンマメの供試品種は、セリーナである。インゲンマメの育成は自然条件下で行い、3 反復を乱塊法により配置した。実験期間ポット内に発生した雑草は、適宜手で抜いた。栽培期間の気象状態は、おおむね平年並みであった。

### (2) 調査項目および調査方法

冬作物の AM 菌感染率、総根長、菌根長と土壌中の *Gigaspora margarita* の偽接合胞子数の調査は、1997 年 3 月 26 日と 5 月 7 日に行った。AM 菌感染率の調査方法は、オオムギ、ソラマメ、タマネギの根をポットから採取し軽く水洗いした後、約 1 cm の長さに切り、この中から 100 個の切片をランダムに選んだ。感染率、総根長、菌根長の測定および *Gigaspora margarita* の偽接合胞子の計測方法は、前年の実験と同様である。ただし、本実験での AM 菌感染とは、根の中に AM 菌の菌糸、樹枝状体が認められたものとした。

インゲンマメの AM 菌感染率は、オオムギ区、ソラマメ区、タマネギ区および春菌接種区について、インゲンマメの播種後 38 日目と 48 日目に行った。材料の採取、染色および感染率測定方法は冬作物での方法と同様である。

各区のインゲンマメの生育調査は、播種後 48 日目に行った。調査項目は主茎節数、分枝数、葉面積、地上部と地下部乾物重、地上部と地下部リン濃度およびリン吸収量である。調査方法は、前年の方法と同様である。

### 3. 冬季の雑草の生育がAM菌の維持と後作インゲンマメの生育におよぼす影響

#### (1) 栽培概要

実験は、ポット試験で行った。オートクレーブで滅菌(120°Cで1時間)し、水分率を40%に調整した黒ボク土910 gに対し *Gigaspora margarita* の偽接合胞子を1000個接種し、1/10000 a ワグネルポットに充填した。このポットに1996年11月16日ホトケノザ (*Lamium amplexicaule* L.)、ハコベ (*Stellaria neglecta* Weihe)、オランダミミナグサ (*Cerastium glomeratum* Thuill.) の種子を10粒播き、1997年1月8日に間引きをして一本植えとした。また、これらの区とは別に滅菌土壌に *Gigaspora margarita* の偽接合胞子の接種のみを行った対照区を設けた。各区のポットは、自然条件下に3反復を乱塊法で配置した。ポットへのかん水は、土壌の表面が乾いたら適宜行った。各区の雑草は、1997年5月7日に地際から切除した。そして各区の土壌(ホトケノザ区、ハコベ区、オランダミミナグサ区には雑草の根を含む)は、1/5000 a ポットの底に入れ、さらにその上には滅菌済みの土壌と硫酸アンモニウム2.0 gと塩化カリウム1.0 gを加え、いずれのポットも土壌の重さを2.8 kgに調整した。また、これとは別に滅菌済みの黒ボク土2.8 kgに *Gigaspora margarita* の偽接合胞子1000個と硫酸アンモニウム2.0 g、塩化カリウム1.0 gを加えたものを用意し、これを春菌接種区とした。各区のポットにはインゲンマメ (*Phaseolus vulgaris* L.) の種子を3粒播きした。インゲンマメの供試品種は、セリーナである。インゲンマメの育成は自然条件下で行い、3反復を乱塊法により配置した。実験期間ポット内に発生した対象とする雑草以外の雑草は、適宜手で抜い

た。栽培期間の気象状態は、おおむね平年並みであった。

#### (2) 調査項目および調査方法

雑草のAM菌感染率、総根長、菌根長と土壌中の *Gigaspora margarita* の偽接合胞子数の調査は、1997年5月7日に行った。AM菌感染率の調査方法は、ホトケノザ、ハコベ、オランダミミナグサの根をポットから採取し軽く水洗いした後、約1 cmの長さに切り、この中から100個の切片をランダムに選んだ。感染率、総根長、菌根長の測定および *Gigaspora margarita* の偽接合胞子の計測方法は、前年の実験と同様である。ただし、本実験でのAM菌感染とは、根の中にAM菌の菌糸、樹枝状体が認められたものとした。

インゲンマメのAM菌感染率は、対照区、ホトケノザ区、ハコベ区、オランダミミナグサ区および春菌接種区について、インゲンマメの播種後48日目に行った。材料の採取、染色および感染率測定方法は冬作物での方法と同様である。

各区のインゲンマメの生育調査は、播種後48日目に行った。調査項目は主茎節数、分枝数、葉面積、地上部と地下部乾物重、地上部と地下部リン濃度およびリン吸収量である。調査方法は前年と同じである。

## 結 果

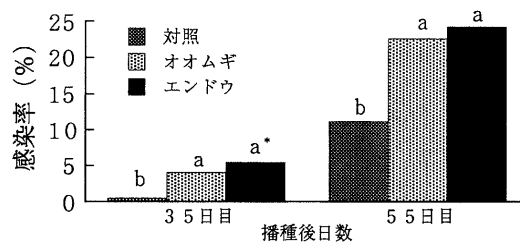
### 1. 冬作物がAM菌の維持と後作インゲンマメの生育におよぼす影響

冬作物の導入が土壌中のAM菌胞子数におよぼす影響を第1表に示した。ポット土壌に接種した *Gigaspora margarita* の偽接合胞子と *Glomus* sp.(y) の厚膜胞子数はそれぞれ510個と300個である。処理後129日目にあたる

第1表 冬作物の導入がアーバスキュラー菌根菌の胞子数におよぼす影響。

試験区	ポット内生存胞子数			
	<i>Gigaspora margarita</i>		<i>Glomus</i> sp.(y)	
	96/04/02	06/02	96/04/02	06/02
対照	387.4 b*	183.8 c	105.3 c	70.2 c
オオムギ	912.2 a	403.6 a	316.0 b	175.5 b
エンドウ	876.3 a	244.7 b	561.8 a	280.7 a

\* 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。



第1図 冬作物の導入がインゲンマメにおけるアーバスキュラー菌根菌感染率におよぼす影響。

\* 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。

第2表 冬作物のアーバスキュラー菌根菌感染率と菌根長。

作物	感染率 (%)		総根長 (m 個体 <sup>-1</sup> )		菌根長 (m 個体 <sup>-1</sup> )	
	96/04/02	06/02	96/04/02	06/02	96/04/02	06/02
オオムギ	2.2	2.1	160.3	431.1	3.4	8.6
エンドウ	11.1	23.3	49.9	170.7	5.4	35.2
有意差	*	***	**	*	NS	***

\*, \*\*, \*\*\*は、それぞれ5, 1, 0.1%レベルで有意差があることを、また、NSは作物間では有意差がないことを示す。

第3表 冬作物の導入が後作インゲンマメの生育におよぼす影響。

試験区	主茎節数	分枝数	葉面積 (cm <sup>2</sup> 個体 <sup>-1</sup> )	乾物重 (g 個体 <sup>-1</sup> )		リン濃度 (mg g <sup>-1</sup> )		リン吸収量 (mg 個体 <sup>-1</sup> )
				地上部	地下部	地上部	地下部	
対照	5.0 a*	0.9 b	163.8 c	1.59 c	0.77 c	3.81 b	3.77 a	8.94 c
オオムギ	5.2 a	2.3 a	299.7 a	3.45 a	1.28 a	4.90 a	3.65 a	21.48 a
エンドウ	5.1 a	0.9 b	256.2 b	2.64 b	1.00 b	3.91 b	3.42 a	13.68 b

\*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。

第4表 冬作物が *Gigaspora margarita* の偽接合胞子数におよぼす影響。

作物	ポット内の全偽接合胞子数		
	96/11/16	97/03/26	05/07
オオムギ	1000	251.6 b*	262.4 b
ソラマメ	1000	574.2 a	452.0 a
タマネギ	1000	309.5 b	479.3 a

\*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。

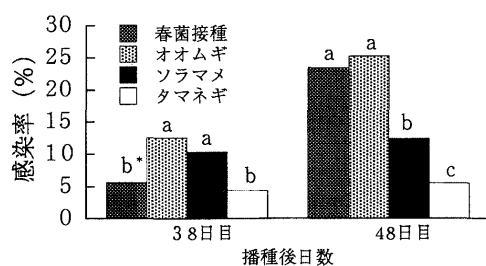
1996年4月2日の調査では対照区ではいずれの種の胞子数も減少したが、オオムギ区やエンドウ区ではポットあたりの *Gigaspora margarita* の偽接合胞子と *Glomus* sp.(y) の厚膜胞子数は処理開始時より増えた。また、6月2日の調査ではいずれの試験区、いずれの種とも4月の調査結果より胞子数は減少した。しかし、いずれの種も対照区よりオオムギ区やエンドウ区で胞子数が多かった。また、AM菌の種によって傾向は異なり、*Gigaspora margarita* の偽接合胞子はオオムギ区でもっとも多かったが、*Glomus*

sp.(y) の厚膜胞子はオオムギ区よりエンドウ区で多かった。

オオムギやエンドウの AM 菌感染率、総根長および菌根長を第2表に示した。感染率はいずれの調査日もオオムギよりエンドウのほうが高く、作物間には、それぞれ5%レベルまたは0.1%レベルで有意差が認められた。総根長は、いずれの調査日もエンドウよりオオムギのほうが長く、作物間に1%レベルまたは5%レベルで有意差が認められた。菌根長は、4月2日では作物間に差がなかったが、6月2日ではオオムギが8.6mでエンドウが35.2mとエンドウのほうが長く、作物間に0.1%レベルで有意差が認められた。

後作インゲンマメの AM 菌感染率を第1図に示した。冬作物を導入したオオムギ区やエンドウ区の AM 菌感染率は、対照区の感染率より高かった。しかし、オオムギ区とエンドウ区ではいずれの調査日も感染率に有意差はなかった。

冬作物の導入が後作インゲンマメの生育におよぼす影響を第3表に示した。主茎節数と地下部のリン濃度には試験区間に差がなかったが、他の調査項目では試験区間に有意差が認められた。葉面積、地上部乾物重、地下部乾物重およびリン吸収量は対照区よりオオムギ区やエンドウ区で高かった。また、分枝数や地上部リン濃度はエンドウ区では対照区と差がなかったが、オオムギ区では対照区やエンドウ区より有意に高かった。



第2図 冬作物により接種源を維持した場合と春に菌を接種した場合でのインゲンマメにおけるアーバスキュラー菌根菌感染率の比較。

\*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。

## 2. 冬作物によって維持した AM 菌とインゲンマメの播種時に接種した AM 菌が後作インゲンマメの生育におよぼす影響

オオムギ、ソラマメおよびタマネギの導入が *Gigaspora margarita* の偽接合胞子数におよぼす影響を第4表に示した。各ポットの土壌に接種した *Gigaspora margarita* の偽

第5表 冬作物のアーバスキュラー菌根菌感染率と菌根長。

作物	感染率 (%)		総根長 (m 個体 <sup>-1</sup> )		菌根長 (m 個体 <sup>-1</sup> )	
	97/03/26	05/07	97/03/26	05/07	97/03/26	05/07
オオムギ	14.2 a*	8.0 a	8.46 b	23.5 b	0.97 b	1.62 b
ソラマメ	11.5 ab	6.5 a	22.60 a	57.8 a	3.05 a	3.52 a
タマネギ	8.9 b	8.8 a	0.85 c	1.5 c	0.08 c	0.13 c

\*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。

第6表 冬作物の導入と春にアーバスキュラー菌根菌を接種した場合での後作インゲンマメの生育の比較。

試験区	主茎節数	分枝数	葉面積 (cm <sup>2</sup> 個体 <sup>-1</sup> )	乾物重 (g 個体 <sup>-1</sup> )		リン濃度 (mg g <sup>-1</sup> )		リン吸収量 (mg 個体 <sup>-1</sup> )
				地上部	地下部	地上部	地下部	
春菌接種	4.0 a*	0.9 a	279.6 ab	1.69 a	1.33 a	4.13 c	3.56 b	11.71 b
オオムギ	4.1 a	1.1 a	394.1 a	1.88 a	1.30 a	4.92 b	3.60 ab	13.93 a
ソラマメ	4.1 a	1.2 a	313.7 ab	1.72 a	0.99 a	5.78 a	3.81 a	13.71 a
タマネギ	3.9 a	0.9 a	232.0 b	1.31 b	1.09 a	4.28 bc	3.50 b	9.42 c

\* 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。

第7表 冬季の雑草の生育がアーバスキュラー菌根菌の接種源維持におよぼす影響。

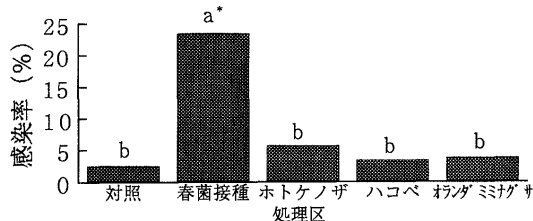
試験区	胞子数*	感染率 (%)	総根長 (m 個体 <sup>-1</sup> )	菌根長 (m 個体 <sup>-1</sup> )
対照	106.2 b	—**	—	—
ホトケノザ	159.3 b	12.6 a	15.6 b	1.12 a***
ハコベ	327.6 a	3.3 b	21.0 b	0.72 b
オランダミミナグサ	375.4 a	3.5 b	49.7 a	1.74 a

\* 胞子数は, ポット内全ての偽接合胞子数をいう。

\*\* 冬に植物を導入しなかったため調査なし。

\*\*\* 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。

接合胞子数は 1000 個であり, 偽接合胞子数は冬作物の栽培経過とともに減少した。しかし, 3 区のうちソラマメ区は, 3 月 26 日の調査では 1 ポットあたりの偽接合胞子数は, 574.2 個とオオムギ区の 251.6 個やタマネギ区の 309.5 個より多かった。また, 5 月 7 日ではソラマメ区の偽接合胞子数は 1 ポットあたり 452.0 個とタマネギ区の 479.3 個とは差がなかったがオオムギ区よりは多かった。



第3図 冬季の雑草の生育がインゲンマメにおけるアーバスキュラー菌根菌感染率におよぼす影響。

\* 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。

オオムギ, ソラマメおよびタマネギの AM 菌感染率, 総根長および菌根長の比較を第5表に示した。各作物の AM 菌感染率は, 3 月 26 日の調査ではオオムギは 14.2% でタマネギの 8.9% に比べ高かったがソラマメとは差がなく, 5 月 7 日の調査では作物間に有意差は認められなかった。総根長と菌根長は, いずれの調査日ともソラマメ, オオムギ, タマネギの順で長かった。

冬作物の栽培によって維持した AM 菌と播種時に接種した AM 菌を AM 菌接種源として利用したときのインゲンマメにおける AM 菌感染率を第2図に示した。播種後 38 日目の調査では, 春菌接種区の感染率よりオオムギ区やソラマメ区の感染率が高かったが, タマネギ区の感染率は春菌接種区と差がなかった。また, 播種後 48 日目の調査ではオオムギ区と春菌接種区では差がなかったが, ソラマメ区やタマネギ区の感染率は, 春菌接種区より低かった。

AM 菌を維持するために冬作物を導入した場合と播種

第8表 冬季の雑草の生育と春にアーバスキュラー菌根菌を接種した場合での後作インゲンマメの生育の比較。

試験区	主茎節数	分枝数	葉面積 (cm <sup>2</sup> 個体 <sup>-1</sup> )	乾物重 (g 個体 <sup>-1</sup> )		リン濃度 (mg g <sup>-1</sup> )		リン吸収量 (mg 個体 <sup>-1</sup> )
				地上部	地下部	地上部	地下部	
対照	3.3 a*	1.0 a	154.6 b	0.83 c	0.81 b	3.54 c	3.30 a	5.61 c
春菌接種	4.0 a	0.9 a	279.6 a	1.69 a	1.33 a	4.13 ab	3.56 a	11.71 a
ホトケノザ	4.1 a	0.4 a	212.5 ab	1.21 b	1.07 ab	4.33 a	3.55 a	9.04 b
ハコベ	4.0 a	1.2 a	217.0 ab	1.33 b	1.27 a	3.86 bc	3.37 a	9.41 b
オランダミミナグサ	3.9 a	0.7 a	242.4 a	1.27 b	1.29 a	3.62 c	3.49 a	9.10 b

\* 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。

時に AM 菌を接種した場合のインゲンマメの生育の違いを第 6 表に示した。調査項目のうち主茎節数、分枝数および地下部乾物重は、試験区間に差がなかった。葉面積、地上部乾物重、リン濃度、リン吸収量は、試験区間に差が認められタマネギ区は他の区に比べ地上部乾物重やリン吸収量が小さかった。また、オオムギ区とソラマメ区の葉面積や地上部乾物重は春菌接種区と差がなく、地上部リン濃度やリン吸収量は、春菌接種区より多かった。

### 3. 冬季の雑草の生育が AM 菌の維持と後作インゲンマメの生育におよぼす影響

冬季の雑草の生育が AM 菌の孢子数におよぼす影響と種々の雑草の AM 菌感染率、総根長および菌根長を第 7 表に示した。雑草の生育の有無に関わらず土壤中の AM 菌孢子数は減少した。しかし、冬季に雑草が生育すると減少数は抑制され、特にハコベやオランダミミナグサでは菌のみ接種して裸地にした対照区との間に有意差が認められた。ホトケノザの AM 菌感染率は、12.6%とハコベの 3.3%やオランダミミナグサの 3.5%より明らかに高かった。総根長は、ホトケノザやハコベよりオランダミミナグサのほうが長かった。菌根長は、3 種の雑草の中ではオランダミミナグサが 1.74 m と最も長かったが、ホトケノザとは差がなかった。また、これら 2 種の雑草の菌根長はハコベより長かった。

冬季の雑草の生育が後作インゲンマメの AM 菌感染率におよぼす影響を第 3 図に示した。雑草が生育した区の AM 菌感染率は対照区と差がなかった。また、これらの感染率は、春菌接種区の感染率に比べて明らかに低かった。

冬季の雑草の生育が後作のインゲンマメの生育におよぼす影響を第 8 表に示した。主茎節数、分枝数、地下部リン濃度は試験区間に差が認められなかった。さらに、雑草が生育した区の葉面積と地下部乾物重は春菌接種区と差がなかったが、地上部乾物重とリン吸収量は対照区より大きく春菌接種区よりは小さかった。

## 考 察

植物の根に AM 菌が感染するためには AM 菌の孢子、菌糸ならびに AM 菌が感染した植物の根など AM 菌の接種源が必要である。冬季にオオムギやエンドウを導入すると裸地（対照区）より翌春における土壤中の AM 菌孢子数が多くなり、しかも AM 菌はオオムギやエンドウの根にも感染しているので、冬作物を導入した区では AM 菌接種源量が対照区に比べ多くなった（第 1, 2 表）。そして、後作インゲンマメの AM 菌感染率は対照区より冬作物を導入した区で高くなった（第 1 図）。さらに、オオムギを導入した場合、後作インゲンマメの AM 菌感染率はインゲンマメの播種時に AM 菌を接種した場合と差がなかった（第 2 図）。これらのことから、オオムギを導入す

れば秋から春の間土壤中の AM 菌密度を維持でき、翌春のインゲンマメ栽培においては再び AM 菌を接種しなくても菌を接種した時と同様な AM 菌感染率を得ることが可能と考えられる。AM 菌の感染率は接種源が多く存在するほど高まると考えられている（Hayman 1970, Saif and Khan 1975, Clapperton and Reid 1992, Kurle and Pfleger 1994）。しかし、本研究ではオオムギとソラマメを導入した区の間ではソラマメを導入したほうが孢子や AM 菌が感染した根などの AM 菌接種源量が多かった（第 4, 5 表）が、後作インゲンマメの AM 菌感染率は播種後 48 日目の調査ではソラマメ区よりオオムギ区のほうが高かった（第 2 図）。このことは、本研究の後作インゲンマメの AM 菌感染には接種源量以外の要因が影響していたことを示唆する。また、土壤中に存在していた孢子には秋に接種した孢子と冬作物の根に感染した AM 菌から新たに形成された孢子がある。これらの孢子のうちどちらがよりインゲンマメの根に感染したかは明らかでない。したがって、孢子数は同じでも秋に接種した孢子と新たに形成された孢子の割合が異なればインゲンマメの感染率が異なることも考えられる。同様に、冬作物の根に感染した AM 菌と孢子もどちらがよりインゲンマメの根に感染しやすい形態であるか不明である。したがって、後作インゲンマメにおいてより高い感染率を得るには接種源量以外に影響を与えた要因を明らかにし、後作物に感染しやすい AM 菌の形態を明らかにする必要があると考えられる。

Isoi (1997) は種々の雑草の導入により AM 菌の孢子数がどのように変化するか調査し、何も植物を導入しなかった場合に比べメヒシバなどの雑草を導入すると AM 菌の孢子数が増えることを報告している。さらに、Kurle and Pfleger (1994) はトウモロコシやダイズの栽培期間中作物の周辺に雑草が存在すると雑草の根に感染した AM 菌から新たに孢子が形成されて土壤中の AM 菌孢子数が増えることを報告している。これらの報告は作物と同様に雑草の導入が AM 菌の接種源維持に有効であることを示唆する。本研究では冬季に圃場を裸地にしておくよりもハコベやオランダミミナグサを導入することによって AM 菌の孢子数が多くなり（第 7 表）、導入したいずれの雑草の根にも AM 菌の感染が認められた（第 7 表）。しかし、冬季にこれらの雑草を導入した後のインゲンマメの AM 菌感染率は対照区と差がなく、インゲンマメの播種時に AM 菌を接種した場合に比べ、明らかに低かった（第 3 図）。したがって、本研究で供試した雑草の導入で秋から春の間土壤中の AM 菌の密度を維持し、後作インゲンマメにおいて播種時に菌を接種した場合と同様な AM 菌感染率を得るのは困難と考えられる。

オオムギやエンドウを導入すると対照区に比べ後作インゲンマメのリン吸収量が増大し、生育が良好となった（第 3 表）。これは冬作物の導入によりインゲンマメの AM 菌感染率が高まったからと考えられる（第 1 図）。しかし、

オオムギとエンドウを導入した場合を比較すると、後作インゲンマメの AM 菌感染率は区間に差は認められなかったが、インゲンマメの生育はオオムギを前作としたほうが良好であった (第3表)。同様に前作がオオムギとソラマメの場合、後作インゲンマメの AM 菌感染率は播種後 48 日目の調査ではソラマメよりオオムギを前作としたほうが高かったが、インゲンマメの生育は地上部リン濃度以外の項目で両区間に差がなかった (第2図, 第6表)。このことは、後作インゲンマメの生育は AM 菌感染率の影響を受けているが、AM 菌の感染率以外の要因も関与していることを示唆する。過去に前作の違いによって後作物の生育が異なったという報告は数多くあり (加藤 1952, 原田ら 1954, 古谷・久木井 1956, 浦野ら 1961, 尾崎・斎藤 1963, 中馬ら 1964), 前作の違いによって後作物の生育や収量が異なるのは前作物の養分吸収パターンや有機物生産量, 土壤理化学性の変化の違いなどが一因であることが明らかにされている (古谷・久木井 1956, 浦野ら 1961)。本研究で後作物に供試したインゲンマメは他のマメ科作物に比べ根粒菌による窒素固定力が弱く, 生育に多くの窒素肥料の施用を必要とする (松代・赤城 1968)。さらに, インゲンマメの生育は前作物の窒素, カリウム, マグネシウム, カルシウムの収支によって著しく左右されることも明らかにされている (尾崎・斎藤 1963)。これらのことから, インゲンマメは土壌からの養分の供給量によって生育が制限されやすく, 特に窒素の吸収が著しい作物が前作物の場合は多くの窒素肥料を施用しないと生育や収量が著しく抑制されると考えられる。したがって, 本研究で認められた前作物の違いによるインゲンマメの生育の違いに導入した前作物の養分吸収の特性の違いが影響していた可能性もある。さらに, 本研究で前作として供試した冬作物はいずれも過去にアレロパシー物質の存在が確認されている (Evenari 1949, 初田ら 1963, Patrick 1963, Overland 1966, 藤井ら 1990, 土屋 1990)。したがって, 前作物のアレロパシー物質がインゲンマメの生育に影響をおよぼしていた可能性もある。以上のことから, 本研究では冬作物の導入に伴う AM 菌感染率の違いがインゲンマメの生育に影響をおよぼした要因の一つであると判断されるが, 前作物の養分吸収やアレロパシー物質などいくつかの要因がインゲンマメの生育を左右したと考えられる。

### 引用文献

Clapperton, M.J. and D.M. Reid 1992. A relationship between plant growth and increasing VA mycorrhizal inoculum density. *New Phytol.* 120: 227—234.

Evenari, M. 1949. Germination inhibitors. *Bot. Rev.* 15: 153—194.

藤井義晴・渋谷知子・安田環 1990. 発芽・生育試験による雑草・作物からの他感作用植物の検索. *雑草研究* 35: 362—370.

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.

Giovannetti, M. and B. Mosse 1980. An evaluation of techniques for measuring vesicular arbuscular mycorrhizal infection in root. *New Phytol.* 84: 489—500.

Giovannetti, M. 1985. Seasonal variations of vesicular-arbuscular mycorrhizas and endogoneaceous spores in a Maritime sand dune. *Trans. Br. Mycol. Soc.* 84: 679—684.

原田景次・鈴木信治・中村恵一 1954. 夏作物が後作小麦に及ぼす影響. 関東東山農業試験場研究報告 5: 48—51.

Harinikumar, K.M. and D.J. Bagyaraj 1988. Effect of crop rotation on native vesicular arbuscular mycorrhizal propagules in soil. *Plant Soil* 110: 77—80.

初田勇一・浜崎敏・西村正陽・蓮仏正義 1963. エンドウの根部中の植物に対する生育阻害物質について. *日農芸誌* 37: 262—264.

Hayman, D.S. 1970. Endogone spore numbers in soil and vesicular-arbuscular mycorrhiza in wheat as influenced by season and soil treatment. *Trans. Br. Mycol. Soc.* 54: 53—56.

石井孝昭・松本勲・ヨグシュハリ シュレスタ・村田博和・門屋一臣 1995. VA 菌根菌の人工培養と培養菌糸体による数種類の植物への感染性. *園学雑* 64 別(1): 190—191.

Isoi, T. 1997. Comparison of arbuscular mycorrhizal fungi flora under different cropping systems in a Light-colored Andsol of Japan. *Soil Microorganisms* 50: 61—64.

磯部勝孝・坪木良雄 1997. インゲンマメ栽培における Arbuscular 菌根菌の利用に関する研究—有効態リン含有量が感染に及ぼす影響と菌株間での生育の比較—. *日作紀* 66: 374—380.

加藤勲 1952. 前作が後作物の収量に及ぼす影響. *新潟大学農学部学術報告* 2: 63—65.

Kurle, J.E. and F.L. Pfleger 1994. Arbuscular mycorrhizal fungus spore populations respond to conversions between low-input and conventional management practices in a corn-soybean rotation. *Agron. J.* 86: 467—475.

松原陽一・原田 隆・八鍬利郎 1995. ネギ実生の生長に及ぼす VA 菌根菌胞子接種濃度ならびに床土への炭化材添加の影響. *園学雑* 64: 549—554.

松代平次・赤城仰哉 1968. 根粒菌との関係よりみた菜豆の窒素栄養に関する研究 (第2報) 施肥窒素の意義および共生根粒菌の窒素固定能力について. *土肥学会講演要旨集* 14: 41.

西尾道德 1987. ショ糖遠心法による土壌中の VA 菌根菌胞子の計数法の改良. *土と微生物* 30: 55—58.

Overland, L. 1966. The role of allelopathic substances in the "Smother crop" barley. *Amer. J. Bot.* 53: 423—432.

尾崎薫・斎藤滋 1963. 畑輪作における前後作組合せ様式に関する研究 第1報作物の養分吸収特性と前後作との関係. *北海道農業試験場彙報* 80: 32—46.

Patrick, Z.A. T.A. Toussoum and W.C. Snyder 1963. Phytotoxic substances in arable soils associated with decomposition of plant residues. *Phytopathology* 53: 152—161.

Saif, S.R. and A.G. Khan 1975. The influence of season and stage of development of plant on Endogone mycorrhiza of field-grown wheat. *Can. J. Microbiol.* 21: 1020—1024.

Schenck, N.C. and Y. Perez 1990. Manual for the identification of VA mycorrhizal fungi. Synergistic Publications, Gainesville. 1—286.

- Sturmer S.L. and M.M. Bellei 1994. Composition and seasonal variation of spore populations of arbuscular mycorrhizal fungi in dune soils on the island of Santa Catarina, Brazil. *Can. J. Bot.* 72 : 359—363.
- Sutton, J.C. and G.L. Barron 1972. Population dynamic of *Endogone* spores in soil. *Can. J. Bot.* 50 : 1909—1914.
- 田中典幸 1985. 根系調査と根の活力測定. 北條良夫・石塚潤爾編, 最新作物生理実験法. 農業技術協会, 東京. 91—100.
- 土屋一成 1990. 野菜作におけるアレロパシーの諸問題. *農及園* 65 : 9—16.
- 中馬克巳・築島安弘・中精一・徳利美千春 1964. 秋冬作飼料作物が後作における夏作物の生育および収量に及ぼす影響 第2報 夏作物の生育および収量. *日作紀* 32 : 282—285.
- 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.

**Effects of Winter Crops on the Density of Arbuscular Mycorrhizal Fungi and the Growth of the Succeeding Kidney Beans :** Katsunori ISOBE\* and Yoshio TSUBOKI (*College of Bioresource Sci., Nihon Univ., Fujisawa 252-0813, Japan*)

**Abstract :** The effects of winter crops on the density of arbuscular mycorrhizal fungi and the growth of succeeding kidney beans were examined. When barley (*Hordeum vulgare* L.) or peas (*Pisum sativum* L.) were grown in winter, the arbuscular mycorrhizal fungi infection rate and the growth of succeeding kidney beans (*Phaseolus vulgaris* L.) were greater in comparison with bare ground. No difference was found in the arbuscular mycorrhizal infection rate of kidney beans between the inoculum preserved by barley and the new one inoculated at the sowing of kidney beans. No difference was found in the growth of kidney bean when arbuscular mycorrhizal fungi were inoculated before barley or broad beans (*Vicia faba* L.) had grown or when arbuscular mycorrhizal fungi were inoculated at the sowing of kidney beans. The winter weeds preserved a number of arbuscular mycorrhizal fungi spores. But the growth of kidney beans that had been grown after winter weeds was inferior to that of the kidney beans inoculated with arbuscular mycorrhizal fungi at sowing. In conclusion, when barley or broad beans were grown in winter, those inoculated with arbuscular mycorrhizal fungi were preserved, and the need for an inoculation of kidney beans with arbuscular mycorrhizal fungi in the following year was not needed. However, the effect of winter weeds on preserving the density of arbuscular mycorrhizal fungi was lower than the effect of winter crops was.

**Key words :** Arbuscular mycorrhizal fungi, Kidney bean (*Phaseolus vulgaris* L.), Number of spores, Winter crops.