

# 温暖地における畑作付体系の違いがアーバスキュラー菌根菌の密度と後作物の生育・収量に及ぼす影響

白木一英\*・山本泰由

(農業技術研究機構)

**要旨:** 温暖地の黒ボク土畑圃場において作付体系の違いが後作ダイズとスイートコーンの生育・収量に及ぼす影響についてアーバスキュラー菌根菌と関連させて検討した。作付体系には、陸稲を1年間栽培した跡に休閑を2年間継続する区、アブラナ科野菜を1年3作し、それを3年間連作する区、カンショを3年間連作する区、ダイズを3年間連作する区およびアブラナ科野菜とカンショ、ダイズをそれぞれ1年ごとに輪作する3通りの輪作区の計7区を設定した。アーバスキュラー菌根菌の孢子密度と後作スイートコーンへの感染は、同菌の宿主であるダイズとカンショの連作跡とダイズ、カンショを最終年に作付けた輪作跡に比べ非宿主であるアブラナ科野菜の跡および休閑の跡で低かった。特にアブラナ科野菜の連作跡の感染率は著しく低かった。ダイズの全重と子実重は、ダイズシストセンチュウの被害が著しかったダイズ連作跡を除くとアブラナ科野菜の跡と休閑跡で少ない傾向にあり、アブラナ科野菜の連作跡で最も少なかった。スイートコーンの全重は、アブラナ科野菜の跡と休閑跡で少なく、アブラナ科野菜の連作跡では雌穂収量も低かった。温暖地の黒ボク土畑圃場でのアブラナ科野菜の連作跡、休閑跡およびアブラナ科野菜の輪作跡におけるダイズおよびスイートコーンの生育量や収量の低下は、これらの跡ではアーバスキュラー菌根菌の孢子密度が低下して後作物への感染が抑制されたことに起因していると推察された。

**キーワード:** アーバスキュラー菌根菌, 作付体系, スイートコーン, ダイズ。

アーバスキュラー菌根菌は作物と共生関係にあり、土壌中のリン酸などの無機養分や水分の吸収を促進することにより宿主作物の生育を向上させることから注目され、その生態や機能が明らかにされつつある (Mosse 1986, 俵谷ら 1996)。また、わが国の畑圃場にはリン酸固定力の高い黒ボク土が多いことから、アーバスキュラー菌根菌の利用に関する研究が数多く行われている (江沢ら 1995, 俵谷ら 1996, 磯部・坪木 1997)。Arihara and Karasawa (2000) は、北海道において前作の違いが後作のトウモロコシの生育・収量に及ぼす影響には、アーバスキュラー菌根菌が深く関与し、アーバスキュラー菌根菌の宿主跡では後作トウモロコシが非宿主跡に比べ増収することを明らかにした。しかし、有原 (1999) は、アーバスキュラー菌根菌の非宿主跡であっても土壌水分が高まるにつれてアーバスキュラー菌根菌の感染が向上することから、夏作物の播種後に梅雨の期間を経過する本州では、梅雨がなく比較的乾燥しやすい北海道に比べアーバスキュラー菌根菌と後作物との関係は不明瞭となる可能性を指摘している。アーバスキュラー菌根菌感染に及ぼす土壌水分の影響については Karasawa ら (2000) の報告があるが、これはアーバスキュラー菌根菌の接種効果をみたものであり、夏作物の播種後に降雨の多い温暖地の黒ボク土圃場でもアーバスキュラー菌根菌の感染に前作の影響が認められるかについて明らかにされていない。そこで本実験では、夏作物の播種後に降雨の多い温暖地の黒ボク土において、土着のアーバスキュラー菌根菌の孢子密度の違いによって後作の生育に差が生じるかについて明らかにするために作付体系の違いがアーバスキュラー菌根菌の孢子密度に及ぼす影響と後作のダ

イズおよびスイートコーンの生育・収量とを関連させて検討した。

## 材料および方法

中央農業総合研究センターの淡色黒ボク土の圃場に 1994 年から 1996 年まで第 1 表に示した 7 通りの作付体系を設けた。1 区面積は 16 m<sup>2</sup> としてランダムに配置し、実験は 2 反復で実施した。それぞれの作物の品種名と施肥量は、第 2 表に示した通りであり、堆肥の施用は行わなかった。それぞれの作物の管理は慣行の栽培方法に準じ、作物の残さはすべて圃場から持ち出した。なお、休閑では施肥を行わず、休閑の期間に発生した雑草は適宜、手取り除草を行った。1997 年 2 月に各作付体系の跡地土壌を深さ 15 cm まで採取し、アーバスキュラー菌根菌孢子をふるい分け—ショ糖遠心法 (斎藤 1992) により分離、計数した。無機態窒素含量は上記の土壌を風乾後に 2 規定の塩化カリウムで抽出し、TRAACS—800 (ブラン・ルーベ社) によ

第 1 表 供試圃場の作付体系。

作付体系	1994 年	1995 年	1996 年
休閑 (U F F)	陸稲	休閑	休閑
キャベツ連作 (C C C)	キャベツ	キャベツ	キャベツ
キャベツ輪作 (S P C)	ダイズ	カンショ	キャベツ
カンショ連作 (P P P)	カンショ	カンショ	カンショ
カンショ輪作 (C S P)	キャベツ	ダイズ	カンショ
ダイズ連作 (S S S)	ダイズ	ダイズ	ダイズ
ダイズ輪作 (P C S)	カンショ	キャベツ	ダイズ

キャベツは春キャベツ—夏キャベツ—秋ダイコンの 1 年 3 作体系を代表して示す。

第2表 作物の品種名と施肥量。

作物名	品種名	施肥量 $\text{g m}^{-2}$		
		N	$\text{P}_2\text{O}_5$	$\text{K}_2\text{O}$
陸稲（無施肥）	トヨハタモチ	0	0	0
キャベツ（春作）	グリーンボール	15	22.5	15
キャベツ（秋作）	早秋	15	22.5	15
ダイコン	耐病総太り	15	22.5	15
ダイズ	タチナガハ	3	10	10
カンショ	ベニアズマ	3	10	10

って測定した。可給態リン酸含量はトルオーグ法とブレイ第二法準法（南條 1986）により調査した。1997年5月21日にダイズ（*Glycine max* (L.) Merr. 品種：タチナガハ）とスイートコーン（*Zea mays* L. var. *saccharata* Bailey 品種：カクテル90L）を各作付体系跡に播種した。なお、ダイズ輪作（PCS）跡についてはスイートコーンのみ播種した。肥料は、ダイズには窒素、リン酸、カリをそれぞれ3%、10%、10%含む化成肥料を  $100 \text{ g m}^{-2}$ 、スイートコーンには窒素、リン酸、カリをそれぞれ16%含む化成肥料を  $125 \text{ g m}^{-2}$  施用した。また、播種後40日目に各区20株のスイートコーンの種子根を採取し、アーバスキュラー菌根菌感染率を斎藤（1992）の方法によって調査した。ダイズは10月6～16日、また、スイートコーンは8月12日に収量調査を行った。

## 結 果

### 1. 土壌の無機態窒素含量、可給態リン酸含量

各作付体系跡の土壌の無機態窒素含量には有意な差が認められなかった（第3表）。トルオーグ法による可給態リン酸含量は春キャベツ・夏キャベツ・秋ダイコンの1年3作を3年続けた跡（以下キャベツ連作（CCC）跡と略記）では他の作付体系跡に比べ顕著に多かった（データ略）。ブレイ第二法による可給態リン酸含量は、休閒（UFF）跡、カンショ連作（PPP）跡、ダイズ連作（SSS）跡に比べキャベツ連作（CCC）跡、キャベツ輪作（SPC）跡、カンショ輪作（CSP）跡およびダイズ輪作（PCS）跡で多く、特にキャベツ連作（CCC）跡で顕著であった（第3表）。なお、トルオーグ法による可給態リン酸含量は、いずれの跡も普通作物を対象とする場合の畑土壌における基本的な改善目標である乾土1kgあたり100mgよりも低い値であった。

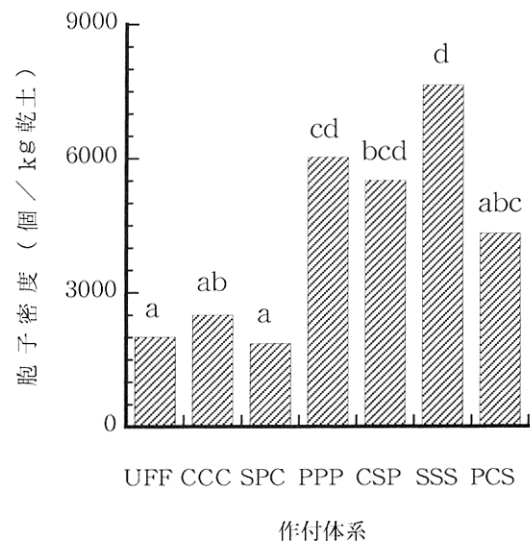
### 2. アーバスキュラー菌根菌の孢子密度、感染率

各作付体系跡のアーバスキュラー菌根菌の孢子密度は、カンショ、ダイズの連・輪作（PPP, CSP, SSS, PCS）跡では休閒（UFF）跡とキャベツ連作（CCC）跡に比べて高かった（第1図）。また、アブラナ科野菜を作付けた跡に宿主作物を1年もしくは2年作付けた輪作（CSP, PCS）跡では宿主作物を2年間作付けた跡にアブラナ科

第3表 各作付体系跡の土壌の無機態窒素含量および可給態リン酸含量（ブレイ第二法）。

作付体系	無機態窒素含量 mg/kg	可給態リン酸含量 mg/kg
UFF	15.8a	55.4b
CCC	17.2a	117.5a
SPC	17.4a	91.2a
PPP	18.8a	41.6b
CSP	18.0a	64.4ab
SSS	16.8a	44.9b
PCS	18.0a	66.6ab

同一アルファベットのついた値の間には5%水準で有意差がない（Fisher's PLSDによる）。



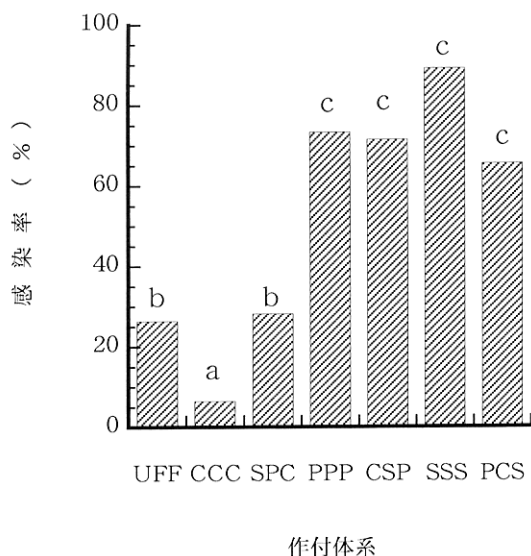
第1図 各作付体系跡の土壌（0～15 cm）のアーバスキュラー菌根菌孢子密度。  
同一アルファベットのついた値の間には5%水準で有意差がない（Fisher's PLSDによる）。

野菜を作付けたキャベツ輪作（SPC）跡よりアーバスキュラー菌根菌の孢子密度が高かった（第1図）。

スイートコーンのアーバスキュラー菌根菌感染率は孢子密度と同じ傾向を示し、カンショ、ダイズの連・輪作（PPP, CSP, SSS, PCS）跡では休閒（UFF）跡とキャベツ連作（CCC）跡、キャベツ輪作（SPC）跡に比べて高かった。しかし、キャベツ連作（CCC）跡では孢子密度が同等であった休閒（UFF）跡とキャベツ輪作（SPC）跡に比べ有意に低かった（第2図）。

### 3. ダイズとスイートコーンの生育量と収量

ダイズ連作（SSS）跡ではダイズシストセンチュウの被害が甚大でダイズの子実重は最も少なかった。このダイズ連作（SSS）跡を除くと、ダイズの収穫期の主茎長、全重、稔実英数および子実重はキャベツ連作（CCC）跡と



第2図 各作付体系跡におけるスイートコーンのアーバスキュラー菌根菌感染率。  
同一アルファベットのついた値の間には5%水準で有意差がない (Fisher's PLSD による)。

キャベツ輪作 (SPC)、休閒 (UFF) 跡ではカンショ連作 (PPP) 跡とカンショ輪作 (CSP) 跡に比べ劣る傾向が認められ、特にキャベツ連作 (CCC) 跡では全重がその他の跡に比べて明らかに低下し、子実重も最も少なかった (第4表)。スイートコーンの収穫期の稈長および全重もほぼダイズと同様の傾向を示し、カンショ、ダイズの連・輪作 (PPP, CSP, SSS, PCS) 跡に比べてキャベツ連作 (CCC) 跡、休閒 (UFF) 跡およびキャベツ輪作 (SPC) 跡では低く、キャベツ連作 (CCC) 跡で最も顕著であった (第5表)。以上のように各作付体系の跡におけるダイズとスイートコーンの生育および収量の傾向は前述したアーバスキュラー菌根菌の孢子密度や感染率とほぼ一致していた。

## 考 察

アーバスキュラー菌根菌はアブラナ科、アカザ科などを除く多くの作物と共生関係を結ぶことが知られている (Hirrelら 1978, 俵谷ら 1985, Testerら 1987, Tawarayaら 1988)。また、Johnsonら (1991) および Isoi (1997) は、作付体系の違いがアーバスキュラー菌根菌の孢子密度に影響を及ぼすことを報告している。本実験においてもアーバスキュラー菌根菌の宿主作物を作付けした跡は孢子密度が高まり、非宿主作物を作付けた跡では孢子密度が低下した。しかし、孢子密度が低下していたと考えられる非宿主作物の跡においても宿主作物を1年間もしくは2年間作付けることによりアーバスキュラー菌根菌の孢子密度は宿主作物を連作した跡とほぼ同等に回復した。このような結果は輪作の最終年に作付けされた作物の種類がアーバスキュラー菌根菌の孢子密度を大きく左右することを示唆して

第4表 ダイズの生育量と収量。

作付体系	主茎長 cm	全重 kg/a	穂実莢数 個/株	100粒重 g	子実重 kg/a
UFF	57bc	66.5b	57.9ab	32.6a	30.4ab
CCC	48c	54.8c	50.2cd	30.4a	25.8b
SPC	60b	69.6ab	51.8bc	33.2a	30.1ab
PPP	77a	77.9a	61.0a	31.8a	32.4a
CSP	75a	76.7ab	56.4ab	32.4a	31.9a
SSS	50c	40.4d	36.7e	26.3b	16.9d

同一アルファベットのついた値の間には5%水準で有意差がない (Fisher's PLSD による)。

全重は風乾重、100粒重と子実重は乾物重による値。

第5表 スイートコーンの生育量と収量。

作付体系	稈長 cm	全重 kg/a	雌穂重 kg/a
UFF	167d	66.7b	143ab
CCC	166d	50.5c	119b
SPC	169cd	67.4b	143ab
PPP	180a	84.0a	166a
CSP	174bc	84.3a	169a
SSS	174bc	76.9a	161a
PCS	178ab	78.4a	160a

同一アルファベットのついた値の間には5%水準で有意差がない (Fisher's PLSD による)。

全重は乾物重、雌穂重は生重による値。

いる。

Harinikumar and Bagyaraj (1989) は、作付体系がアーバスキュラー菌根菌に及ぼす影響を調査し、ラッカセイを作付けした体系ではカウピーやフィンガーミレットを作付けした体系に比べてその跡のアーバスキュラー菌根菌の孢子形成が促進されていることを報告している。また、江沢ら (1995) は宿主作物の種類がアーバスキュラー菌根菌の増殖や菌株間の競争に影響を及ぼすことを明らかにしている。このように宿主作物の種類によってアーバスキュラー菌根菌の孢子の増殖や菌株の盛衰が異なることが報告されているが、本実験では、アーバスキュラー菌根菌の孢子密度はダイズ連作 (SSS) 跡において最も高かったもののダイズ輪作 (PCS) 跡の孢子密度は、カンショ連作 (PPP) 跡とカンショ輪作 (CSP) 跡に比べむしろ低かったことからダイズの作付けがカンショの作付けよりもアーバスキュラー菌根菌の孢子形成を促進したとは考えられなかった。また、Ellisら (1992) はアーバスキュラー菌根菌の宿主作物の跡であってもアーバスキュラー菌根菌の種類の違いによって後作物への感染率に差が生じ、その影響が収量にまで及ぶことを報告している。しかし、本実験ではカンショ、ダイズの連輪作 (PPP, CSP, SSS, PCS) 跡の後作物のアーバスキュラー菌根菌の感染率や収量には

差異が認められなかった。

本実験ではアーバスキュラー菌根菌の感染率は孢子密度が高い跡ほど向上する傾向にあった。しかし、可給態リン酸含量の高い土壌ではアーバスキュラー菌根菌の感染が抑制されることが知られており (Ojalaら 1983, 野中・吉田 1987, 俵谷ら 1995, Isobe and Tsuboki 1998), また, 磯部・坪木 (1997) は, 土壌中のブレイ第二法による可給態リン酸が乾土 1 kg あたり 58 mg 以上になるとインゲンマメへのアーバスキュラー菌根菌の感染率が低下することを報告している。本実験では, ダイズ連作 (SSS), カンショ連作 (PPP) 跡と休閒 (UFF) 跡を除いてブレイ第二法リン酸が乾土 1 kg あたり 58 mg 以上になっていた。このアーバスキュラー菌根菌の感染率の低下の原因として, 土壌の可給態リン酸含量が高まることで根からのアミノ酸や糖の滲出量が低下して菌糸の感染が抑制されることが示唆されている (Mengeら 1978, Ratnayakeら 1978, Grahamら 1981)。本実験では根のリン酸含量, アミノ酸や糖の滲出量を測定していないので一概に結論できないが, トルオーグ法とブレイ第二法のいずれの分析法でもキャベツ連作 (CCC) 跡の土壌の可給態リン酸含量がその他の跡に比べて高かったことから, キャベツ連作 (CCC) 跡における多量の可給態リン酸がアーバスキュラー菌根菌の感染の低下を招いた可能性が推察された。しかし, キャベツ連作 (CCC) 跡における一層の生育抑制の原因についてはさらに詳しい検討を必要とする問題である。

有原 (1999) は, 前作の違いを介したアーバスキュラー菌根菌の影響が年次によって異なることを報告している。それによると 6 月の札幌市の月平均降水量が 5 mm と 27 mm であった 1991 年と 1992 年にはアーバスキュラー菌根菌の影響が認められたが, 78 mm と多かった 1993 年には前作の効果が認められなくなったとしている。このことから 6 月の土壌水分が高まる温暖地では前作の効果が明瞭に現れにくくなる可能性を指摘した。1971 年から 2000 年のつくば市の 6 月の月平均降水量は 138 mm であった (注: 理科年表・日本の気象 CD-ROM 2002, 丸善株式会社, 東京)。また, 本実験を行った 1997 年 6 月は, 月平均降水量が平年値をやや上回る 161 mm であり (注: 気象庁月報平成 9 年 6 月全国気象表 1997, 気象庁, 東京), 札幌市での 78 mm をはるかに超えていたにもかかわらずアーバスキュラー菌根菌の感染率やトウモロコシ, ダイズの生育・収量には作付体系の違いによる影響が認められた。

以上の考察から, 梅雨のない北海道に比べ 6 月の降水量が多い温暖地の畑土壌においても前作物の違いにより生じたアーバスキュラー菌根菌の孢子密度の差がダイズおよびスイートコーンの生育・収量に影響を及ぼしていたものと考えられる。今後, 温暖地においても土着のアーバスキュラー菌根菌の機能を活用するための前後作の組み合わせや土壌管理についてさらに検討をする必要があると思われる。

## 引用文献

- 有原丈二 1999. 現代輪作の方法—多収と環境保全を両立させる—。農文協, 東京。1—206。
- Arihara, J. and T. Karasawa 2000. Effect of previous crops on arbuscular mycorrhizal formation and growth of succeeding maize. *Soil Sci. Plant Nutr.* 46: 43—51.
- Ellis, J.R., W. Roder and S.C. Mason 1992. Grain sorghum—soybean rotation and fertilization influence on vesicular—arbuscular mycorrhizal fungi. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 56: 789—794.
- 江沢辰広・桑原慎也・吉田富男 1995. Arbuscular 菌根菌と宿主植物の親和性, および宿主植物の違いが菌株間競争に及ぼす影響。土と微生物 45: 9—19.
- Graham, H.J., 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.
- Harinikumar, K.M. and D.J. Bagyaraj 1989. Effect of cropping sequence, fertilizers and farmyard manure on vesicular—arbuscular mycorrhizal fungi in different crops over three consecutive seasons. *Biol. Fertil. Soils* 7: 173—175.
- Hirrel, M.C., H. Mehravar and J.W. Gerdemann 1978. Vesicular—arbuscular mycorrhizae in the Chenopodiaceae and Cruciferae: do they occur? *Can. J. Bot.* 56: 2813—2817.
- 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 Arbuscular 菌根菌の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.
- Isobe, K. and Y. Tsuboki 1998. Relationship between the amount of root exudate and the infection rate of arbuscular mycorrhizal fungi in gramineous and leguminous crops. *Plant Prod. Sci.* 1: 37—38.
- Isoi, T. 1997. Comparison of arbuscular mycorrhizal fungal flora under different cropping systems in a light—colored Andosol of Japan. *Soil Microorg.* 50: 61—64.
- Johnson, N.C., F.L. Pfleger, R.K. Crookston, S.R. Simmons and P.J. Copeland 1991. Vesicular—arbuscular mycorrhizas respond to corn and soybean cropping history. *New Phytol.* 117: 657—663.
- Karasawa, T., M. Takebe and Y. Kasahara 2000. Arbuscular mycorrhizal (AM) effect on maize growth and AM colonization of roots under various soil moisture condition. *Soil Sci. Plant Nutr.* 46: 61—67.
- Menge, J.A., D. Steirle, D.J. Bagyaraj, E.L.V. Johnson and R.T. Leonard 1978. Phosphorus concentrations in plants responsible for inhibition of mycorrhizal infection. *New Phytol.* 80: 575—578.
- Mosse, B. 1986. Mycorrhiza in a sustainable agriculture. *Biol. Agric. Hort.* 3: 191—209.
- 南條正巳 1986. 可給態リン酸。土壌標準分析・測定法委員会編, 日本土壌肥料学会監修, 土壌標準分析・測定法。博友社, 東京。127—133。
- 野中昌法・吉田富男 1987. VA 菌根菌の増殖に及ぼす各種リン酸塩の影響。土肥誌 58: 561—565。

- Ojala, J.C., W.M. Jarrell, J.A. Menge and E.L.V. Johnson 1983. Comparison of soil phosphorus extractants as predictors of mycorrhizal dependency. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 47: 958–962.
- Ratnayake, M., R.T. Leonard and J.A. Menge 1978. Root exudation in relation to supply of phosphorus and its possible relevance to mycorrhizal formation. *New Phytol.* 81: 543–552.
- 斎藤雅典 1992. 菌根菌の観察, 分離と同定. 土壤微生物研究会編, 新編土壤微生物実験法. 養賢堂, 東京. 297–311.
- 俵谷圭太郎・但野利秋・田中明 1985. 北海道における作物の VA 菌根菌感染状態. 土肥誌 56: 141–146.
- Tawaray, K., S. Maeda, T. Wagatsuma and R. Honnma 1988. Vesicular–arbuscular mycorrhizal infection in plants grown in Yamagata prefecture. *Bull. Yamagata Univ., Agr. Sci.* 10: 557–562.
- 俵谷圭太郎・国井芳彦・我妻忠雄 1995. Arbuscular 菌根菌の接種とリン酸施与が黒ボク土におけるホワイトクローバとタマネギのリン吸収と生育に及ぼす影響. 土肥誌 66: 48–53.
- 俵谷圭太郎・木根淵高秋・渡辺重樹・我妻忠雄・鈴木源士 1996. Arbuscular 菌根菌の接種がネギ (*Allium fistulosum* L.) の生育とリン吸収に及ぼす影響. 土肥誌 67: 294–298.
- Tester, M., S.E. Smith and F.A. Smith 1987. The phenomenon of “nonmycorrhizal” plants. *Can. J. Bot.* 65: 419–431.

**Effect of Cropping System on Arbuscular Mycorrhizal Fungal Population, Growth and Yield of Succeeding Crop on Andosol in Central Region of Japan : Kazuei USUKI\* and Hiroyuki YAMAMOTO (*Natl. Agr. Res. Cent. Tsukuba* 305-8666, Japan)**

**Abstract :** The effect of the cropping system on arbuscular mycorrhizal fungi, growth and yield of succeeding corn or soybean were studied over the rainy season on Andosol field in Ibaraki, Japan, since a high soil moisture status has been suggested to improve the efficiency of arbuscular mycorrhizal infection. Corn and soybean were grown in plots of seven cropping histories. All the previous crops except for the crops of the genus Brassica were mycorrhizal in cropping system. Grain yield of soybean and ear yield of corn following soybean and sweet potato were much higher than following a crop of the genus Brassica and fallow. In particular, continuous cultivation of crops of the genus Brassica depressed the yield of the succeeding crop. The previous crop clearly influenced the spore population and arbuscular mycorrhizal formation in corn root. It was thus concluded that both the population and colonization of arbuscular mycorrhizal fungi after cropping of the genus Brassica and fallow were less than after cultivating soybean and sweet potato. Consequently, our results indicate that the cropping system affected the growth and yield of the succeeding crop through symbiotic association with arbuscular mycorrhizal fungi on Andosol in the central region of Japan.

**Key words :** Arbuscular mycorrhizal fungi, Corn, Cropping system, Soybean.

---