

## オオムギカバークロップによるアーバスキュラー菌根形成が 登熟期ダイズの養分吸収に与える影響

内田智子・小林浩幸・好野奈美子

(東北農業研究センター)

**要旨：**前作のオオムギを登熟期に刈り敷き、不耕起でダイズを栽培するオオムギカバークロップ—不耕起ダイズ栽培には増収効果が認められるが、養分的な効果とその要因であることが示唆されている。その一つとして、ダイズのアーバスキュラー菌根菌（以下 AM 菌）感染率向上によるリン吸収の促進が考えられる。AM 菌による生育促進効果の報告は、生育初期についてのものがほとんどだが、本研究では子実生産と関係の深い着莢期以降のダイズの生育、AM 菌感染率、収穫期のリン集積量および根粒重についてカバークロップ—ダイズ栽培 1 作目および 3 作目の二つの圃場で調査を行い、AM 菌がダイズ収量に及ぼす影響を解析した。その結果、1 作目圃場では、ダイズ収量は単作区に比較してカバークロップ区で高かったが、3 作目圃場では、両区間の差異は明らかでなかった。カバークロップ区では、1 作目、3 作目圃場ともに着莢期の AM 菌感染率は高かった。葉色値は 1 作目圃場では子実肥大期から成熟始期まで単作区より高い傾向がみられたが、3 作目圃場では開花始期および成熟始期のみで高かった。根粒重はカバークロップ区で高い傾向が認められた。これらのことから 1 作目圃場のカバークロップ区では、着莢期まで AM 菌感染率が高く維持されたことによるリン吸収の促進と、AM 菌感染率の向上による根粒菌着生期間の拡大に伴う窒素吸収の増加が増収に貢献したと判断された。一方、3 作目圃場におけるカバークロップ区では窒素が制限要因となって増収効果がみられなかったものと考えられた。

**キーワード：**アーバスキュラー菌根菌、カバークロップ、根粒菌、ダイズ、登熟期、リン。

オオムギカバークロップ—不耕起ダイズ栽培は冬作にカバークロップであるオオムギ (*Hordeum vulgare* L.) を栽培し、ダイズ (*Glycine max* (L.) Merr.) の播種直前にオオムギを刈り敷き、ダイズを不耕起で栽培するもので、ダイズは 2–3 割増収することが報告されている (小林・小柳 2005)。東北では通常、冬期は休閑することが多く、この時期にカバークロップを導入することで、雑草防除、地力維持、増収、土壤炭素貯留と多面的な効果が期待できる (小林ら 2007)。この栽培法は当初、雑草防除を目的として開発されたが (Kobayashi ら 2004, 小林・小柳 2005)、ダイズの増収が雑草害回避分を上回ることから、増収の要因としてカバークロップによる二つの養分的な効果が示唆されてきた (小林ら 2007)。一つは刈り敷かれたオオムギ残渣からの窒素供給に関するものである (内田・小林 2006, 小林ら 2007)。すなわち、オオムギが刈り敷かれるのが登熟期で、通常緑肥として利用される場合よりも植物体の C/N 比が高いことが窒素の無機化を緩やかで持続的なものにし、ダイズの子実肥大期まで及ぶことで緩効性肥料のような効果を果たすと推測される (内田・小林 2006)。また、もう一つはダイズの前作に冬作オオムギカバークロップを導入することにより、ダイズの AM 菌感染率が向上し、ダイズのリン吸収が促進されることにより収量の増加に結び付く可能性である。AM 菌を利用した生育の改善は資材等の接種によるのが一般的だが、資材が高価であることから、一般向きではない。しかし、休閑期に屑ムギの種子を用い

てカバークロップを導入することにより AM 菌感染率の向上をはかることができれば、低コストでダイズの収量を増収させることが可能となる。この体系では冬作オオムギカバークロップによりダイズの AM 菌感染率が高まることが示されており (島崎ら 2008)、AM 菌によるリン吸収促進効果が増収に関与する可能性が示唆されている。しかし、島崎ら (2008) の報告は生育初期から開花始期のものである。ダイズの収量予測は開花期では難しく、着莢期以降の生育状況が収量予測と最も相関が高いことから (藤井ら 1981)、収量に直接影響する着莢始期 (R3) (Fehr ら 1971) 以降の AM 菌の動態およびリン集積量の解明が重要と考えられる。なぜなら、ダイズのリン要求量が急激に高まり始めるのが着莢始期 (R3) であり、AM 菌によるリン供給が最も期待される時期であるからである (Hanway and Weber 1971)。そこで、本研究では子実生産に直接結びつく着莢期以降の生育状況や AM 菌感染率、収穫期のリン集積量、そして根粒重について調査を行い、AM 菌共生がカバークロップ栽培のダイズ収量に及ぼす影響について解析した。

### 材料と方法

#### 1. 供試圃場の概要とオオムギの栽培方法

試験は 2007 年秋から 2008 年秋にかけて東北農業研究センター福島研究拠点内の 2 ヶ所の畑圃場 (淡色黒ボク土) で行なった。供試圃場の土壌の理化学性は 2007 年 10 月の平均で炭素含有率は  $16 \text{ g kg}^{-1}$ 、窒素含有率は  $2.0 \text{ g kg}^{-1}$ 、C/

N 比は 8, 可給態リン酸は  $74\sim 84\text{ mg kg}^{-1}$ , リン吸収係数は 1506, pH は 6.2 である. 試験区は秋に全面耕起後, カバークロップとしてオオムギを播種し, 春にオオムギを刈り敷いた後に不耕起でダイズを播種するオオムギカバークロップ—ダイズ栽培 (カバークロップ区) と, 秋に全面耕起後, 冬期休閑の後に不耕起でダイズを播種する栽培 (ダイズ単作区) の二つの処理区を 3 反復で設けた. 試験圃場の一つはカバークロップ—ダイズおよび冬期休閑—ダイズを 2005 年の秋から 2007 年秋まで 2 年間継続した圃場で, 2007 年の秋から 2008 年秋の試験でも同じ栽培を繰り返した (3 作目圃場). 二つめの圃場ではカバークロップ—ダイズおよび冬期休閑—ダイズの初年目の試験を行い, 3 作目圃場と同様に 2007 年の秋から 2008 年秋までカバークロップ—ダイズおよび冬期休閑—ダイズを栽培した (1 作目圃場). 1 作目圃場では 2006 年 10 月下旬にオオムギを栽培し, 2007 年 5 月下旬に鋤き込みを行なった後に, 夏期は休閑した. 1 区面積は  $27.45\text{ m}^2$  ( $6.1\text{ m} \times 4.5\text{ m}$ ) である.

カバークロップ区ではオオムギ (品種べんけいむぎ) をロータリーによる全面耕起後 25 cm の条間で播種した. 播種量は  $10\text{ g m}^{-2}$  で播種日は 2007 年 10 月 29 日である. ダイズ単作区においてもオオムギ播種と同日に全面耕起した. カバークロップ区では化成肥料 (くみあい苦土・ホウ素入硝酸燐加安 S-444 号, N: 14%,  $\text{P}_2\text{O}_5$ : 14%,  $\text{K}_2\text{O}$ : 14%) を  $43\text{ g m}^{-2}$  (N,  $\text{P}_2\text{O}_5$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ =6, 6,  $6\text{ g m}^{-2}$ ) の割合で全量基肥として側条施肥した. オオムギは翌年のダイズ播種時にハンマーナイフモア (共栄社製, HMA80) で穂を含む地上部全量を細断してその場に刈り敷いた. オオムギの細断サイズは平均で 14.7 cm (標準偏差 6.11) であった.

## 2. ダイズの栽培方法

ダイズは福島県の奨励品種ふくいぶきを用いた. 播種は 2008 年 5 月 26 日ですずれの圃場も畝間 50 cm, 株間 18 cm, 播種量  $5\text{ g m}^{-2}$  で, オオムギの刈り敷きと同日, その後不耕起播種した. ダイズ単作区も同様に不耕起播種とした. 肥料はくみあい化成高度 500 号 (N: 5%,  $\text{P}_2\text{O}_5$ : 20%,  $\text{K}_2\text{O}$ : 20%) を  $60\text{ g m}^{-2}$  (N,  $\text{P}_2\text{O}_5$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ =3, 6,  $6\text{ g m}^{-2}$ ) の割合で全量基肥として側条施肥した.

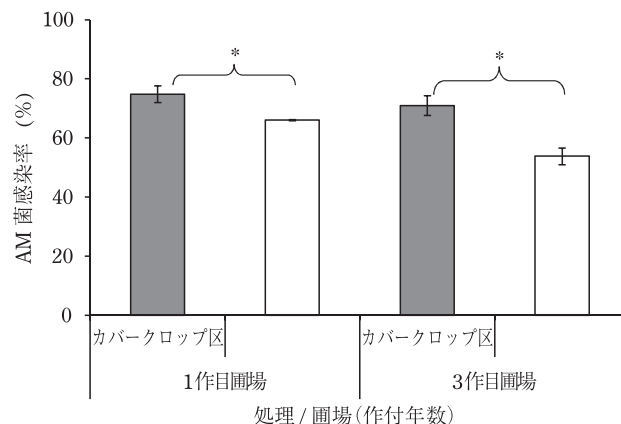
## 3. 試料採取及び分析方法

### (1) ダイズの葉色

葉の活力の指標として, ダイズの葉色 (SPAD 値) を 2008 年 7 月 8 日, 24 日, 8 月 11 日, 27 日, 9 月 16 日, 10 月 3 日に 1 処理区から生育の中庸な 10 個体を選んで測定した. 葉色 (SPAD 値) は葉緑素計 (コニカミノルタ社製, SPAD-502) を用いて最上位展開葉を  $n$  としたときの ( $n-2$ ) 葉における 3 枚の小葉のうちの 1 枚を無作為に選んで測定した.

### (2) AM 菌感染率

播種 80 日後に各処理区からダイズ 5 個体のそれぞれの



第 1 図 着莢期 (8 月 13 日) におけるダイズの AM 菌感染率. エラーバーは標準誤差を示す. \* は 5% 水準で有意差があることを示す (t 検定).

株元 20 cm 立方の範囲に含まれる根を採取した. ダイズは根を地上部から切り離し, 流水で丁寧に洗浄した. 根は 10% KOH 溶液に浸した後,  $80^\circ\text{C}$  で 1 時間煮沸した後, 2% HCl で中和した後, 0.05% トリパンプルーを添加し, 20 分ほど煮沸して, ラクトグリセロール溶液中で保存した (大場ら 2006). 染色した根の AM 菌感染率は, 5 個体分の根を混合したものを 1 試料とし, 格子交点法により決定した (Giovannetti and Mosse 1980). 1 試料につき 200~300 交点を観察した.

### (3) 子実収量と収量関連形質

ダイズは 2008 年 10 月 16 日に地上部を各処理区の  $2\text{ m}^2$  ( $2\text{ m} \times 2$  条分) を採取して, 地上部乾物重 (全重), 粗子実重, 精粒重 (7.0 mm 以上), 個体密度を, さらにその中から中庸な 10 個体を選び主茎節数, 分枝数, 稈実莢重, 百粒重を測定した. また, それとは別に各処理区から 5 個体を採取し,  $75^\circ\text{C}$  で 4 日間通風乾燥した後, 茎葉, 莢, 子実に分けて乾物重を測定し, 全リンの分析に供した.

### (4) 収穫時におけるダイズ地上部のリン集積量分析方法

ダイズの茎葉, 莢, 子実を粉碎した後に, 硝酸と過塩素酸で湿式分解し, モリブデン青 (アスコルビン酸還元) 吸光度法により, オートアナライザー (ブランルーベ社製, AA II 型) を用いて試料中のリン含有率を求めた. リン集積量は茎葉, 莢, 子実の各器官のリン含有率とそれぞれの乾物重との積から算出した.

### (5) ダイズの着生根粒重

1 作目, 3 作目圃場より 2008 年 7 月 18 日, 8 月 13 日, 10 月 3 日に処理区内からダイズを 4~9 個体採取した. 根はダイズの株元から 20 cm 立方に含まれる範囲で採取した. ダイズは根を地上部から切り離し, 流水で丁寧に洗浄した. ダイズの根に着生した根粒を採取して,  $75^\circ\text{C}$  で 72 時間乾燥後, 重さを測定した.

### (6) 統計

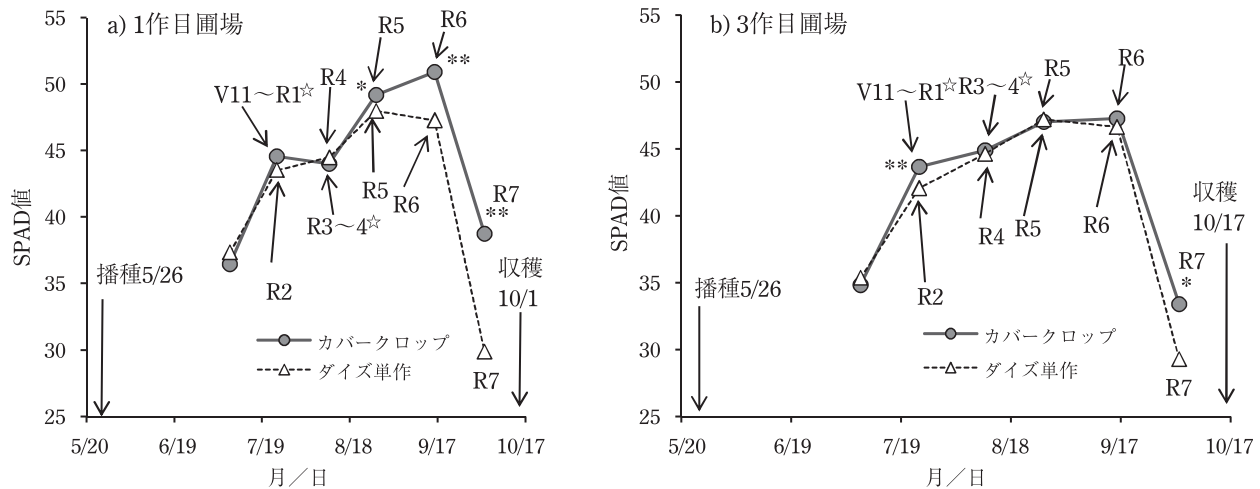
統計処理は JMP (ver. 5.0.1, SAS Institute JAPAN) を用

第1表 ダイズの根粒重の推移.

圃場	処理区	根粒重 (mg 個体 <sup>-1</sup> )		
		7月18日	8月13日	10月2日
1作目圃場	カバークロップ区	181 a	196 a	220 a
	ダイズ単作区	59 b	105 a	9 a
<i>p</i> 値		0.015	0.084	0.101
3作目圃場	カバークロップ区	208 a	321 a	104 a
	ダイズ単作区	39 a	219 a	53 a
<i>p</i> 値		0.076	0.149	0.262

表中の数値は処理区の平均値を示す (n=3).

異なるアルファベットを付した数値は5%水準で有意差があることを示す (t検定).



第2図 ダイズの葉色の推移と生育ステージ.

葉色 (SPAD 値) の測定は2008年7月8日, 24日, 8月11日, 27日, 9月16日,

10月3日に行なった. 各調査日において\*, \*\* はそれぞれ5%, 1%水準で処理区間差が有意であることを示す (n=3, t検定). ☆はカバークロップ試験区のなかで生育ステージがまたがっていたことを示す.

V11: 第11節期, R1: 開花始期, R2: 開花盛期, R3: 着莢始期, R4: 着莢盛期, R5: 子実肥大始期, R6: 子実肥大盛期, R7: 成熟始期.

いて, 1作目圃場と3作目圃場のそれぞれについて Student の t 検定を行った. なお, ダイズの作期中, 経時的に調査を行った根粒重と葉色 (SPAD 値) については反復測定型の多変量分散分析も併せて行った.

## 結 果

### 1. ダイズの AM 菌感染率および着生根粒重

カバークロップ区における8月13日 (着莢期) の AM 菌感染率は70~75%とダイズ単作区の50~65%と比較して1作目, 3作目圃場ともに高く, 有意な差がみられた (5%水準, 第1図).

ダイズの根粒重は7月18日 (開花期直前), 8月13日 (着莢期), 10月2日 (子実肥大期) とともにカバークロップ区で高い傾向がみられ, 7月18日には1作目圃場では5%で有意な差が認められた (第1表). 根粒重の推移を反復測定型の多変量分散分析をおこなったところ, 1作目圃場のカバークロップ区では有意差が認められなかったが

( $p=0.11$ , 図表なし), 3作目圃場では5%水準で有意差が認められた ( $p=0.04$ , 図表なし).

### 2. ダイズの生育, 収量およびリン集積量

ダイズの葉色 (SPAD 値) は1作目圃場では子実肥大始期 (R5) から成熟始期 (R7) までカバークロップ区でダイズ単作区に比較して高く推移した (R5, R6, R7 でそれぞれ5%水準) (第2図). 一方, 3作目圃場では開花期 (V11~R2) にあたる7月24日と成熟始期 (R7) でのみカバークロップ区でダイズ単作区に比べて葉色値が高く (5%水準), 子実肥大期 (R5~R6) のカバークロップ区とダイズ単作区の葉色の差は認められなかった (第2図). また, 開花始期は7月24日頃であるが, カバークロップ区とダイズ単作区でやや差がみられ, カバークロップ区でダイズ単作区より開花がやや遅い傾向にあった. 同様に R3~R4 にあたる8月11日においてもカバークロップ区でダイズ単作区より生育進展が遅れる傾向にあった (第2図). カ



第2表 カバークロップ区およびダイズ単作区における収量および収穫時のダイズの形質.

圃場	処理区	個体密度	主茎節数	分枝数	全重	稈実莢重	粗子実重		精粒重		百粒重
		(個体 m <sup>-2</sup> )	(個体 <sup>-1</sup> )	(個体 <sup>-1</sup> )	(g m <sup>-2</sup> )	(g m <sup>-2</sup> )	(g m <sup>-2</sup> )	(g 個体 <sup>-1</sup> )	(g m <sup>-2</sup> )	(g 個体 <sup>-1</sup> )	(g)
1作目圃場	カバークロップ区	14.2 a	14.2 a	4.3 a	885 a	556 a	513 a	36.3 a	401 a	28.3 a	30.7 a
	ダイズ単作区	16.3 b	12.6 a	3.9 a	645 b	497 a	384 b	23.5 b	323 b	19.8 b	30.8 a
	p 値	0.033	0.051	0.264	0.003	0.426	0.007	<0.001	0.027	0.003	0.944
3作目圃場	カバークロップ区	14.0 a	14.7 a	4.3 a	647 a	490 a	376 a	27.6 a	291 a	21.2 a	28.8 a
	ダイズ単作区	17.8 a	12.4 b	3.6 a	565 a	482 a	342 a	19.2 a	271 a	15.1 a	27.6 a
	p 値	0.092	0.004	0.302	0.229	0.932	0.324	0.081	0.600	0.084	0.482

表中の数値は処理区の平均値を示す (n=3).

異なるアルファベットを付した数値は5%水準で有意差があることを示す (t検定).

第3表 収穫時におけるダイズ地上部のリン集積量.

圃場	処理区	茎葉		莢		子実		ダイズ地上部	
		(g m <sup>-2</sup> )	(mg 個体 <sup>-1</sup> )	(g m <sup>-2</sup> )	(mg 個体 <sup>-1</sup> )	(g m <sup>-2</sup> )	(mg 個体 <sup>-1</sup> )	(g m <sup>-2</sup> )	(mg 個体 <sup>-1</sup> )
1作目圃場	カバークロップ区	0.06 a	4.02 a	0.07 a	1.22 a	2.79 a	9.6 a	2.92 a	14.84 a
	ダイズ単作区	0.03 b	1.62 b	0.05 b	0.64 b	2.19 a	5.36 b	2.27 a	7.62 b
	p 値	0.003	<0.001	0.040	0.007	0.069	0.008	0.058	0.003
3作目圃場	カバークロップ区	0.03 a	2.08 a	0.05 a	0.8 a	2.33 a	7.32 a	2.42 a	10.2 a
	ダイズ単作区	0.03 a	1.47 a	0.04 a	0.47 b	1.86 a	4.4 b	1.93 a	6.33 b
	p 値	0.610	0.133	0.345	0.036	0.196	0.011	0.196	0.011

表中の数値は処理区の平均値を示す (n=3).

異なるアルファベットを付した数値は5%水準で有意差があることを示す (t検定).

バークロップ区の葉色値を1作目圃場と3作目圃場で比較するとR5, R6にあたる9月16日, 10月3日では1作目圃場で明らかに高い傾向がみられた. なお, 反復測定型の多変量分散分析では1作目圃場の葉色値の推移はカバークロップ区では有意に高かったが (5%水準, 図表なし), 3作目圃場では有意でなかった (p=0.15, 図表なし).

面積あたりのダイズの精粒重および粗子実重は1作目, 3作目圃場ともにカバークロップ区で高い傾向がみられたが, 1作目圃場のみで粗子実重は1%水準, 精粒重は5%水準で有意であった (第2表). 収穫時の形質については主茎節数, 分枝数, 全重, 稈実莢重においてカバークロップ区で単作区より高い傾向がみられ, 主茎節数については3作目圃場において, 全重では1作目圃場においてそれぞれ1%, 5%水準で有意な差が認められた. 分枝数と稈実莢数はどちらの圃場でも違いがみられなかった. 個体密度は1作目, 3作目圃場ともにカバークロップ区で単作区より低い傾向がみられたが, 1作目圃場で有意な差が認められた (5%水準, 第2表).

ダイズの面積あたりのリン集積量は1作目, 3作目圃場ともに茎葉, 莢, 子実, 地上部合計ともにカバークロップ区でダイズ単作区より高い傾向が見られ, 1作目圃場の茎葉および莢で有意な差が認められた (それぞれ1%, 5%水準, 第3表). ダイズの個体あたりのリン集積量では1作目圃場において茎葉, 莢, 子実, 地上部合計ともに1%水準, 3作目圃場においては莢, 子実, 地上部合計で5%

水準で有意な差が認められた (第3表). 面積あたりおよび個体あたりのリン集積量を1作目圃場と3作目圃場で比較するとカバークロップ区, 単作区ともに1作目圃場で3作目圃場より高い傾向にあった (第3表).

## 考 察

マメ科であるダイズは根粒菌とAM菌を同時に共生させることができるという点で他のイネ科のような作物とは養分動態が異なり (小川 1997), 施肥による収量の改善が難しい (大山 1991). 窒素施肥量を増やすことにより必ずしも収量が増加するとは限らず (中野ら 1989), 根粒着生量の低下を招く原因ともなる (桑原 1986, 田村 1997). 一方, リン施肥量も増やすことにより収量が増加する場合ばかりではなく, AM菌感染率が減少することにより増収に結びつかない場合がある (磯部ら 1993, 佐藤ら 1998).

このように施肥管理が難しいダイズであるが, カバークロップ技術の利用により窒素やリン等の養分をカバークロップ植物およびAM菌に介在させることができれば, ダイズの要求に即した適期に適量の養分を供給することが可能となり, 収量の増加を導ける可能性がある (Waggar 1989, Myers ら 1997).

本研究ではこれまで増収効果が検証されているオオムギカバークロップ—不耕起ダイズ栽培の登熟期におけるAM菌, 根粒菌およびダイズの生育全般の動態を調査し, 三者の関係が収量に与える影響を二つの圃場において解析し

た。カバークロップにより、着莢期のダイズのAM菌感染率は増加した(第1図)。島崎ら(2008)によってカバークロップ処理により播種後34日、58日のAM菌感染率が高まることが報告されているが、今回はその後のステージでもAM菌感染率が高まっていることが確認された。AM菌にとってはホスト植物からの炭水化物の供給維持が共生を持続させる条件であるが(Smith and Read 2008)、AM菌の感染により葉の寿命が延長されることが報告されており(Kormanik 1985)、1作目圃場のカバークロップ区における登熟期の葉色値が高く維持されたことは(第2図)、AM菌の感染が影響した可能性がある。また、登熟期における高い葉色値による炭水化物生産能の維持は(松崎 1987)、この時期の根粒の窒素固定活性の衰えを軽減するので(大山 2000)、カバークロップ区では、このことが登熟期においても根粒重が高く維持された要因としてあげられ(第1表)、それによって窒素固定期間が延長された可能性が示唆された。Kawai and Yamamoto (1986)は、ダイズにAM菌を接種したポット試験によって、AM菌が存在することでダイズの根粒重および窒素固定活性が高まることを示した。また、佐藤ら(1998)はポット試験におけるダイズへのAM菌接種により、AM菌はダイズの登熟期間のリン吸収を促進し、根粒衰退の抑止を通して窒素固定の維持を導くことを示した。本研究でもAM菌感染率の高いカバークロップ区で根粒重が高く推移する傾向が認められたことから(第1図、第1表)、圃場でもAM菌の存在によって窒素固定量が多くなる可能性が示されたといえる。このようにカバークロップダイズ栽培ではAM菌と根粒菌とが登熟期まで同時に共生し続けることにより、リン吸収が窒素固定能とダイズの光合成能を維持し、それにより窒素集積能も維持され(小川 1997)、登熟期間の延長すなわち子実充実期間の拡張が子実収量の増加に寄与したと考えられた(第2表)。

しかし、ダイズの増収は3作目圃場では有意ではなかった(第2表)。その要因として3作目圃場では、生育後半にダイズが吸収する窒素が減少していた可能性が考えられる。なぜなら、3作目圃場の1作目すなわち2006年にはカバークロップ区での増収が示されており(島崎ら 2008)、カバークロップダイズ栽培を連作したことにより増収効果が低下したと考えられる。1作目圃場においては葉色値の推移はカバークロップ区で子実肥大期から成熟始期まで継続して高く推移し(第2図)、ダイズの窒素吸収量が高まっていたことが示唆された。しかしながら、3作目圃場におけるカバークロップ区の葉色値では1作目圃場のような推移がみられなかったことから(第2図)、子実を充填する子実肥大期にダイズの窒素吸収を高めることができなかったものと考えられた。収量関連要素を分析すると、ダイズの主茎節数は1作目、3作目圃場ともにカバークロップ区で多かったが、その後の生育ステージで決定される稔実莢重などでは3作目圃場で試験区間差が小さく

なっている(第2表)。以上のことから、カバークロップ区では生育後半に窒素が不足していたことが疑われ、リンより窒素が子実収量獲得の制限要因となっていたことが推測される。オオムギカバークロップダイズ栽培の連作により増収効果が小さくなることへの改善策として、窒素供給の不足を改善するためにはムギ類以外のマメ科のカバークロップを導入する必要があるかもしれない。

さらに付記する点としてカバークロップ区でダイズの個体密度が低かったという現象がある。カバークロップ区ではオオムギを刈り敷いた後に残渣が地表面を覆った状態で不耕起播種したが、大量の残渣の存在はダイズ種子の覆土阻害および麦稈への接触による病原菌への感染等により、出芽不良を引き起こす要因となることが示されている(濱口ら 2004, 2008, 小林ら 2007)。出芽不良は1作目、3作目圃場のカバークロップ区でともに認められ、1作目圃場では出芽率が有意に減少した(データ未記載)。低い個体密度に対する補償作用もあるので一概には言えないが、個体密度を慣行同様に確保しないとカバークロップ区の収量を過小評価する可能性もある。今後、残渣がダイズ播種の妨げにならず、出芽を安定させるように播種機および作業技術を改良することが望まれる。

これまでのAM菌感染率の向上によるダイズの生育改善の報告は初期生育に関するものがほとんどであったが(磯部ら 1993, 唐澤 2004)、本研究ではオオムギカバークロップ不耕起ダイズ栽培体系において着莢期以降という生育段階の後期にAM菌感染率の向上によりダイズの養分吸収が改善されたことが初めて示された(第1図、第3表)。カバークロップ栽培のAM菌感染率の向上はオオムギダイズの輪作体系による影響だけでなく、麦稈等の有機物の添加はAM菌感染率を高めることから(Walsh and Ragupathy 2007)、AM菌とカバークロップ残渣のような有機物が同時に存在することも、AM菌の共生期間の延長に寄与しているのかもしれない。

一方で、カバークロップ処理におけるダイズの増収要因はAM菌によるリン供給の促進および窒素固定期間の延長だけでなく、カバークロップオオムギ残渣由来の窒素供給の可能性も示唆されている(小林ら 2008)。Tanaka and Yano (2005) および矢野 (2006) はAM菌感染率の向上に伴い、リンだけでなく、有機物由来の窒素の獲得能が向上したことを報告しており、今後カバークロップ残渣由来の窒素がAM菌を介在してダイズに供給される可能性も検証する必要がある。

謝辞：本研究を遂行するにあたり、農研機構 畜産草地研究所の小島知子主任研究員にはアーバスキュラー菌根菌の観察方法等についてご指導いただいた。東北農業研究センター業務4科の櫻井貴雄氏、矢野力雄氏には圃場管理及びサンプル採取の際にはご協力をいただいた。また、サンプルの調整等には三浦礼氏、小池千絵氏にご協力いただいた。ここに記して深く感謝致します。

## 引用文献

- Fehr, W.R., C.E. Caviness, F.T. Burmood and J.S. Pennington 1971. Stage of development descriptions for soybeans, *Glycine max* (L.) Merrill. Crop Sci. 11 : 929–931.
- 藤井弘志・安達忠弘・吉田昭・大沼彪・鈴木武・阿部吉克・今野周 1981. 水田換畑の大豆栽培における土壌条件と養分吸収が子実収量に及ぼす影響. 山形農試研報 15 : 39–53.
- Giovannetti, M. and B. Mosse 1980. An evaluation of techniques for measuring vesicular-arbuscular infection in roots. New Phytol. 84 : 489–500.
- 濱口秀生・中山壮一・梅本雅 2004. 汎用型不耕起播種機による大豆不耕起狭畦栽培マニュアル. 中央農研研究資料 5 : 1–21.
- 濱口秀生・渡邊和洋・松尾和之・梅本雅・中山壮一・小野信一・長野間宏・渡邊好昭 2008. 転換畑における不耕起大豆の苗立ち不良について. 日作紀 77 (別 1) : 80–81.
- Hanway, J.J. and C.R. Weber 1971. Accumulation of N, P, and K by soybean (*Glycine max* (L.) Merrill) plants. Agron. J. 63 : 406–408.
- 磯部勝孝・藤井秀昭・坪木良雄 1993. ダイズ栽培におけるVA菌根菌の動態に関する研究. 日作紀 62 : 351–358.
- 唐澤敏彦 2004. 輪作におけるアーバスキュラー菌根菌の動態と作物の生育に関する研究. 北海道農研研報 179 : 1–71.
- Kawai, Y. and Y. Yamamoto 1986. Increase in the formation and nitrogen fixation of soybean nodules by vesicular-arbuscular mycorrhiza. Plant Cell Physiol. 27 : 399–405.
- Kobayashi, H., S. Miura and A. Oyanagi 2004. Effects of winter barley as a cover crop on the weed vegetation in a no-tillage soybean. Weed Biol. Manag. 4 : 195–205.
- 小林浩幸・小柳敦史 2005. 冬作オオムギカバークロップとして用いた不耕起ダイズ栽培において狭畦化と除草処理が雑草量とダイズの収量に及ぼす影響. 雑草研究 50 : 284–291.
- 小林浩幸・内田智子・島崎由美 2007. 前作大麦のカバークロップ効果で大豆が増収. 農及園 82 : 1267–1272.
- Kormanik, P.P. 1985. Effects of phosphorus and vesicular-arbuscular mycorrhizae on growth and leaf retention of black walnut, *juglans nigra*, seedlings. Can. J. For. Res. 15 : 688–693.
- 桑原真人 1986. ダイズの多収条件と窒素代謝 (2). 農及園 61 : 590–598.
- 松崎昭夫 1987. 葉色. 農業技術体系土壌施肥編, 第2巻. 作物の栄養と生育 (生育の形態と栄養. 各器官の形態と生理). 農文協, 東京. 作物栄養 I 17–23.
- Myers, R.J.K., M. van Noordwijk and P. Vityakon 1997. Synchrony of nutrient release and plant demand : Plant litter quality, soil environment and farmer management options. In Cadisch, G. and K.E. Giller eds., Driven by nature : Plant litter quality and decomposition. CAB international, Wallingford, 215–229.
- 中野寛・渡辺巖・田淵公清 1989. 大豆の窒素追肥技術. 第3報 窒素追肥が窒素固定に及ぼす効果. 日作紀 58 : 192–197.
- 大山卓爾 1991. ダイズにおける硝酸の吸収代謝と窒素固定. 化学と生物. 29 : 433–443.
- 大山卓爾 2000. ダイズの窒素同化特性と収量. 農業技術体系作物編, 第6巻. ダイズ (基本技術編–ダイズ栽培の基礎理論–ダイズの特性と収量の考え方). 農文協, 東京. 技 11–28.
- 小川眞 1997. 作物と土をつなぐ微生物–菌根の生態学. 農文協, 東京. 104–108.
- 大場広輔・斎藤勝晴・藤吉正明 2006. アーバスキュラー菌根実験法 (2) アーバスキュラー菌根の観察. 土と微生物 60 : 57–61.
- 佐藤喬・久保民和・平田熙 1998. 黒ボク心土を用いた異なる施肥リレベル下でのダイズの生育と根粒活性に及ぼすVA菌根菌接種の影響. 土肥誌 69 : 62–72.
- 島崎由美・内田智子・小林浩幸 2008. カバークロップに用いた冬作オオムギが不耕起栽培ダイズの菌根形成に与える影響. 日作紀 77 : 395–402.
- Smith, S.E. and D.J. Read, 2008. Arbuscular mycorrhizas. In Smith, S.E. and D.J. Read eds., Mycorrhizal symbiosis third edition. Academic Press, London, 13–187.
- 田村有希博 1997. ダイズの根粒活性制御機構の解明 (第1報)–ダイズの根粒活性に及ぼす窒素の影響. 土肥誌 68 : 301–306.
- Tanaka, Y. and K. Yano 2005. Nitrogen delivery to maize via mycorrhizal hyphae depends on the form of N supplied. Plant Cell Environ. 28 : 1247–1254.
- 内田智子・小林浩幸 2006. オオムギカバークロップによるダイズ栽培の窒素養分調節. 土肥要旨集 52 : 133.
- Waggar, M.G. 1989. Time of desiccation effects on plant composition and subsequent nitrogen release from several winter annual cover crops. Agron. J. 81 : 236–241.
- Walsh K.B. and S. Ragupathy 2007. Mycorrhizal colonisation of three hybrid papayas (*Carica papaya*) under mulched and bare ground conditions. Aust. J. Exp. Agric. 47 : 81–85.
- 矢野勝也 2006. 植物とVA菌根菌の窒素をめぐる駆け引き. 根の研究 15 : 11–17.

**Effects of Arbuscular Mycorrhizal Colonization on Soybean Nutrient Uptake during Ripening Period with Barley Cover Cropping** : Tomoko UCHIDA, Hiroyuki KOBAYASHI and Namiko YOSHINO (*Cover crop team, National Agricultural Research Center for Tohoku region 50 Harajuku-minami, Arai, Fukushima 960-2156, Japan*)

**Abstract** : The introduction of barley as a winter cover crop (WCC) provides increased yield of no-till soybean. In this cropping system, barley is mowed at the grain-filling stage before soybean cropping, and we speculate that WCC increased the yield of soybean by increasing nutrient uptake including the promotion of phosphorus uptake by improving arbuscular mycorrhizal (AM) colonization. Most of the previous reports on the growth promoting effect of AM fungi are restricted to the growth in the early stage. In this study, the effects of AM fungi on the growth, phosphorus uptake, and nodule formation of no-till soybean in ripening stage were examined. Field survey was conducted in two fields: the first year soybean cropping with and without WCC (1YSF) and the third year of continuous soybean cropping with and without WCC (3YSF) in 2008. The results showed that the yield of soybean with WCC was higher than that without WCC in 1YSF, but not in 3YSF. The rate of AM colonization was increased by WCC in both fields. The leaf color values were increased by WCC in 1YSF, but not in 3YSF. The nodule weight tended to be increased by WCC in both fields. We considered that WCC contributed to survival of AM fungi, which promoted P uptake and extended nodulation period leading to increased yields in 1YSF. In 3YSF, however, WCC failed to increase yield because the yield was limited by nitrogen.

---