原著論文

オカボ栽培でのカバークロップ利用と耕うんシステムが 耕地の土壤炭素と生物相に及ぼす影響

辜 松*・小松崎将一**・太田寛行**・本林 隆***・森泉昭治*・山口昌良**

* (中国) 東北農業大学工程学院

** 茨城大学農学部

*** 東京農工大学農学部

Cover Cropping and Tillage System Affect Soil Carbon Dynamics and Soil Organism in Field Rice Cultivation

Song Gu*, Masakazu KOMATSUZAKI**, Hiroyuki OTA**, Takashi MOTOBAYASHI***

Shoji MORIIZUMI* and Masayoshi YAMAGUCHI**

* North East Agriculture University (China)

** School of Agriculture, Ibaraki University

*** Tokyo University of Agriculture & Technology

1. 緒言

持続的農業システムでの耕地生態系のマネージメントには、土壤微生物を中心とする土壤生物相などの生態系を健全な形に維持し、作物残渣を循環させる仕組みが求められる(駒田1996)。作物残渣の分解過程など物質循環の場面では、土壤微生物、線虫および土壤動物などの多様性が深く関わっており(斉藤2003)、これらの土壤生物は土壤中の有機物を栄養源としているものが多く、土壤中での生物相と土壤有機物とは深い関連がある(青木1973, Magdoff1994)。

農業生産性の面から土壤有機物の役割はすでに多くの場面で注目されている(Vaughan and Evanylo 1998, 渡辺1989, Ditsch and Ally 1991, Shipley *et al.* 1992, 雁野1993, Ranells *et al.* 1997, Waggoner *et al.* 1998)。また、土壤有機物を維持していくには、作物残渣などを耕地還元するだけでは不足する場合があることが指摘されている(小泉1996)。

畑作では、前作の作物残渣や堆肥などによって有機物が供給される場面が多く、北関東の畑作では昭和40年代ごろまで冬作の麦類と夏作物を結合した作付体系がとられ、麦わら等による有機物還元が積極的に行われてきた(中山1984)。しかし、麦価の低迷や農業機械化による間作の解消およびプラスチックマルチの普及による夏作物作付の早期化などにより畑作麦は姿を消し、作物残渣による有機物還元量は減少している(大久保1975)。

秋播きのカバークロップを導入した作付体系は、冬期間の土壤飛散や土壤窒素の溶脱を防止するなど環境負荷軽減効果があり、さらに有機物を還元することで土壤有機物の維持向上に寄与するなど土壤改善につながることが期待できる(Sainju *et al.* 1998)。また、カバークロップの残渣を耕地へ還元することで土壤生物相の栄養源を供給し、土壤の物質循環などの機能向上につながることが期待されている(Magdoff 1994)。

カバークロップの利用と土壤生物相との関連については、不耕起でのヘアリーベッチ利用で節足動物類の個体数密度が増加することや(House 1989)、不耕起栽培など作物残渣などの有機物被覆で土壤小型動物の生息密度が増加することなどが指摘されている(Wilson-Rummenie 1999)。また、耕地での土壤生物は、耕うんなどの農作業によって攪乱され、生物

平成15年8月7日受付

平成16年3月31日受理

Corresponding author

小松崎将一 Masakazu Komatsuzaki

〒300-0393 茨城県稲敷郡阿見町中央3-21-1

3-21-1 Chu-ou, Ami, Inashiki, Ibaraki, 300-0393, Japan

E-mail: komachan@mx.ibaraki.ac.jp

表1 収穫時期のカバークロップの乾物重と C/N 比 (4月)

カバークロップ	2001		2002	
	乾物重 (Mg/ha)	C/N	乾物重 (Mg/ha)	C/N
クリムソンクローバ	2.7 ± 0.5	18.2 ± 2.0	3.0 ± 0.2	17.5 ± 5.8
ライムギ	6.6 ± 0.9	25.3 ± 5.4	8.3 ± 0.8	32.9 ± 4.6
裸 地	1.2 ± 0.8	13.0 ± 1.8	1.3 ± 0.1	16.7 ± 1.8

注) 数値は平均値 ± S.E.

相は絶えず変動していることが指摘されている (中村ら 1981, 西尾 1996, Nakamura 1984, 本林 1998). しかしながら, イネ科あるいはマメ科などのカバークロップ種とロータリ耕うんを含めた耕うん体系との違いが, 土壌の生物相に及ぼす影響については未検討である.

著者らは, カバークロップの利用が耕地生態系に及ぼす影響を土壌の生物相の面から捉え, これらをとりにいた農作業システムを多面的に評価することを目指している. しかしながら, 多様な土壌生物相の総合モニタリングについては検討が始まったばかりであり, 多様性と土壌生態系の機能との関連の解明は十分ではない (斉藤 2003). 本研究では, 将来の土壌生物相の総合モニタリングやカバークロップ利用による長期的な土壌有機物の形成などを念頭におきながら, カバークロップ導入1年目における数種の耕うん条件下での土壌微生物, 土壌線虫および土壌小形動物の個体数変動を調査した. なお, 土壌有機物を構成する土壌炭素の変化と土壌呼吸量も合わせて検討し, カバークロップの利用と土壌生物相との関連を総合的に理解していくうえでの基礎資料を得ようとした.

2. 材料および方法

1) 圃場設定

試験は, 茨城大学農学部附属農場の洪積台地畑 (土性: CL, LiC) で行った. 実験設計は, split-plot design で3反復とし, 試験要因は耕うん方法とカバークロップ種とした. 耕うん方法としてプラウ耕, ロータリ耕および不耕起の3水準, カバークロップ種としてクリムソンクローバ (*Trifolium incarnatum* L.), ライムギ (*Secale cereale* L.) および裸地の3水準を設定した. 1区画の面積は3m × 6mとした. 実験は2000年10月から2001年9月 (初年目) および2001年10月から2002年9月 (2年目) の2年間実施した. 試験圃場は年次により場所を替え作成した. 前作は初年目がサツマイモ (*Ipomoea batatas*

Lam.) であり, 2年目はトウモロコシ (*Zea mays* L.) であった.

圃場には, 前年秋 (初年目は2000年10月10日, 2年目は2001年10月5日) にクリムソンクローバ (50kg/ha) とライムギ (100kg/ha) を播種し, 裸地は雑草による自然植生とした. 翌春, モワーでカバークロップを刈倒した (初年目は2001年4月9日, 2年目は2002年4月5日). この時のカバークロップの乾物重および C/N 比を表1に示した. 翌日それぞれの試験圃場を耕うんした. 耕深はプラウ耕で27cm, ロータリ耕で15cm とした. プラウ耕区では耕うん後ドライブハローで整地した. 不耕起区では播種機の畦間に合わせてサブソイラーで播種溝を作成し, カバークロップ残渣による圃場面を被覆した状態で播種床とした. カバークロップの後作物として, オカボ (*Oryza sativa* L., 品種 ゆめのはたもち) を播種し (初年目は2001年4月12日, 2年目は2002年4月30日), 基肥は N 100kg/ha, P₂O₅ 100kg/ha, K₂O 100kg/ha を施した. 除草や灌水などの管理作業は, 農場慣行によって行った. 収穫は自脱型コンバインで実施した (初年目は2001年9月19日, 2年目は2002年10月3日).

2) 調査項目

調査はオカボ栽培期間中のみとし, 2001年4月から9月および2002年4月から9月までの2ヶ年実施した. オカボの収穫時には0.72m²を刈取り, 各区の収量を求めた.

土壌炭素調査のサンプリングは, 初年目では2001年4月8日, 5月19日および9月24日に実施した. 2年目では2002年4月15日, 5月26日および9月28日に行った. 直径2cmの検土丈を用いて, 0~7.5cm, 7.5~15cm, および15~30cmの3層で土壌を採取した. 土壌採取は各プロットとも2ヶ所より行い, それらを混和して供試サンプルとした. 採取土壌は室温で乾燥させた後, 土壌の全炭素含有量を測定した. すなわち0.2gの土壌サンプルを秤量し, 重クロム酸カリウムを加え, 硫酸・リン酸混液

で熱分解し、その時に発生する二酸化炭素を炭酸ガス吸収管で吸収し、土壤炭素含有量を算定した（本田 1970）。

土壤呼吸量の測定は、2001 年 4 月 13 日、5 月 5 日、5 月 26 日、6 月 18 日、7 月 9 日、7 月 30 日および 9 月 26 日に実施した。2 年目では、2002 年 4 月 17 日、5 月 1 日、6 月 20 日、7 月 22 日、8 月 12 日および 9 月 20 日に測定した。すなわち、直径 130mm の捕集するチャンバを土中に埋設し、24 時間後にチャンバ内の CO_2 濃度を CO_2 ガス検知管を通じて土壤から排出する二酸化炭素を測定した。次の式を用い、土壤呼吸量を求めた。

$$W = 383.28 \frac{H \times (x - 0.035)}{273 + t}$$

但し、 W は 1 日に 1ha 当たり土壤から排出する二酸化炭素の質量 (kg)、 H は収集チャンバの内部高さ (cm)、 x は検知管で測定する収集チャンバ中の二酸化炭素の含有量 (%), t は地温 ($^{\circ}\text{C}$) である。土壤呼吸量の単位は $\text{kg CO}_2/\text{ha}/\text{day}$ で表示した。また、土壤呼吸量は地温（地下 2cm）と土壤水分飽和度により影響を受けることから、土壤呼吸量測定時には地温および土壤飽和水分量を測定し、60% 土壤水分飽和度、地温 25°C の標準状態に換算して土壤呼吸量を算出した (Soil Quality Institute 1999)。

土壤細菌、土壤線虫および土壤動物の個体数調査のためのサンプリングは初年目は 2001 年 7 月 9 日および 9 月 25 日に行い、2 年目は 2002 年 5 月 23 日、7 月 22 日および 9 月 24 日に実施した。

土壤細菌数調査のための土壤サンプリングは、深さ 2～7cm の土壤を採取し、各処理区別に混和して 1 サンプルとした。土壤は採取後すぐに保冷し、プレートカウント法により土壤細菌数を測定した。土壤細菌の培養は 30°C で 100 倍希釈肉エキス培地によって 4 週間行い、その後顕微鏡を通じて培養可能

な土壤細菌の全菌数を測定した。

線虫数調査のための土壤サンプリングは、深さ 2-7cm の土壤を採取し、ベルマン法により線虫を抽出した。すなわち、20g のサンプルをガーゼに包み、蒸留水に 24 時間で浸し、線虫を抽出した。抽出した全線虫を顕微鏡で計数した。

土壤動物調査のためのサンプリングは深さ 2-7cm の土層で 100 cm^3 の土壤を採取して行った。ツルグレン法により、土壤サンプルを網敷き漏斗に置き、40W の電球で照らし、アルコール液入り容器によってサンプル中の土壤動物を抽出した。抽出期間は 3 日とした。抽出アルコール液中の土壤動物個体数を顕微鏡で測定した（本林 1998）。この調査では、抽出されたすべての土壤小型動物について個体数を計測したが、処理間の比較はすべての処理区で共通に採取されたトビムシ類およびダニ類について行った。また、2001 年 7 月の調査は、調査機具の不備のため抽出が不十分であり、データを除外した。

データの処理は、統計ソフト (SAS System) により、GLM プロシージャで分散分析を行い、Fisher's PSLD を用い各処理間における有意性検定を行った。

3. 結果

1) 気象概要およびオカボの収量

試験期間中の月平均気温と月平均降水量の推移を図 1 に示した。月平均気温を見ると、5～6 月では、初年目は平年より 2°C ほど高く推移したが、2 年目は平年よりやや低く推移し、オカボの生育はやや停滞した。しかし、7 月以降の気温は両年とも上昇し、オカボの生育は平年並に回復した。降水量を見ると、平年に比べて初年目は 7 月に著しく少なく、2 年目では 8 月が少なくなったが、畑地かんがいによりオカボの生育に支障はなかった。

オカボの収量は、両年の平均値でみると 2.9～

図 1 実験期間の月平均気温と月平均降水量

月平均気温と降水量 (2000～2002) は茨城大学附属農場の観測データより
月平均気温と降水量 (1979～2000) は気象業務支援センター (2002) より

3.6Mg/haを示し、耕うん方法間では有意な差異が認められなかったが、カバークロップの利用によりオカボの収量はやや低下する傾向が認められた。

2) 土壌呼吸量と土壌水分飽和度

土壌呼吸量は、両年ともにオカボ生育前期では耕うん方法およびカバークロップ種によって有意な差異を示したが、7月以降では差異は認められなかった。また、土壌水分飽和度についても同様に耕うん方法およびカバークロップ種によって有意な差異を示した。しかし、地温は処理間の差異が認められなかった（統計分析結果表は省略した）。

調査期間中の土壌呼吸量の差異をみると年次間の変動が大きく、オカボ生育前期では、2001年＞2002

年を示した。しかし、オカボ生育後期では、両年ともに4kgCO₂/ha/day程度にすべての処理区で収斂した（図2）。耕うん直後でのプラウ耕とロータリ耕区では、土壌呼吸量が不耕起に比べて高くなった。しかし、4月下旬以降ではこれらの関係は逆転し、2001年では不耕起はプラウ耕およびロータリ耕に比べて高くなった。また、カバークロップ別にみると、ライムギ>クリムソクローバ>裸地となり、特に不耕起のライムギの場合は4月下旬～7月上旬にかけて他の区より著しく高い値を示した。

これに対し、2002年では耕うん法別にみると、前年と同様の傾向が認められたが、それらの差異は微少に留まった。カバークロップ種別にみると、クリ

図2 土壌呼吸量の推移

→ は耕起日を示す：2001年4月10日、2002年4月16日

ムソクローバ>ライムギ≧裸地となり、前年に比べてライムギ区での土壤呼吸量が低くなった。

土壌水分飽和度は、両年ともに30～65%の間で変動し、耕うん方法別およびカバークロップ種別の変動は両年とも同様の傾向を示した(図3)。すなわち、4月から7月における不耕起区の土壌水分飽和度が高く、ついでプラウ耕区であり、ロータリ耕区の場合が最も低くなった。また、カバークロップ別に見ると、不耕起区では4月から6月の間にライムギ区とクリムソクローバ区での土壌水分飽和度が裸地区に比べて高くなった。また、ライムギ区の土壌水分飽和度はクリムソクローバ区より高い値を示した。

3) 土壤炭素含有量

土壤炭素含有率は年次間の変動が大きく2001年では3.0～3.5%であり、2002年度では2～3%を推移しており、これらは圃場間の差異と認められた(図4)。2001年4月では、クリムソクローバで裸地とライムギより土壤炭素含有率が高かったが、有意な差異とならなかった。2002年4月では、0-7.5cmの表層においてライムギ区が他の区よりも有意に高い土壤炭素含有率を示した。

カバークロップすき込み後の5月では、2001年では耕うん方法およびカバークロップ種による有意な差異は認められなかった。しかし、2002年では0-7.5cmの表層においてロータリ耕がプラウ耕および

図3 土壌水分飽和度の推移

→ は耕起日を示す：2001年4月10日，2002年4月16日

図4 耕うん前(4月)およびオカボ収穫期(9月)での土壤炭素含有率の土層別分布

注) データは3種の耕うん法をまとめてカバークロップ別に平均した。

*: 5%水準で有意差あり。

不耕起より土壤炭素含有率が減少したが、両年を通じては一定の傾向を認めなかった(図省略)。

オカボ収穫期の9月では、両年ともに耕うん方法間での土壤炭素含有率に及ぼす影響は認められなかったが、カバークロップ種の影響は2001年の土壤深さ15-30cmの層で認められた。すなわち2001年の土壤炭素含有率は、15-30cmの土層のクリムソクローバ区が他より高く、0-7.5cmの表層でクリムソクローバおよびライムギが裸地よりも高い値を示した。

4) 土壤細菌数

土壤細菌数には、年次間の変動が大きく、2001年<2002年となった(表2)。また、季節的な変動をみると、土壤細菌数は5月が多く、オカボの生育が進むにつれて減少した。試験年次別にみると、2001年7月では、耕うん方法別ではプラウ区でロータリ耕および不耕起に比べて土壤細菌数が少なくなった。カバークロップ種別ではクリムソクローバおよびライムギ区で裸地よりも大きな値を示したが、有意な差異とはならなかった。2001年9月では不耕起区での土壤細菌数が他の耕うん法に比べて高くなったが、カバークロップ種別の差異は認められなかった。

2002年においても5月から9月にかけて3回の調査を行ったが、土壤細菌数には耕うん方法およびカバークロップ種による差異は認められなかった。

5) 土壤線虫

耕うん作業やカバークロップのすき込みは土壤線虫数に著しく影響した(表3)。耕うん方法別に見ると、2001年9月には不耕起で土壤線虫数が最も高く

なった。カバークロップ種類別に見ると、7月から9月までいずれの耕うん方法でもライムギ区での土壤線虫数が最も多く、次いでクリムソクローバ区であった。

これに対し2002年5月の土壤線虫数の平均値は169.6匹/生土20gで最も多くなった。7月の土壤線虫数の平均値は5月の30.1%、9月では5月の39.2%に減少した。耕うん方法別に見ると、7月から9月の不耕起で土壤線虫数が最も多かった。カバークロップ種類別には、いずれの耕うん方法でもカバークロップ区(ライムギとクリムソクローバ)での土壤線虫数が裸地区より多かったが、ライムギとクリムソクローバでの差異は明確ではなかった。

6) トビムシ類およびダニ類の個体数

いずれの調査時期でもトビムシおよびダニ類の個体数には耕うん方法およびカバークロップ種による差異は認められなかった。しかし、調査時期間では有意な差異が認められ、いずれの処理においても、5月にトビムシ類およびダニ類ともに個体数が多く、7月には減少した。(図5)。

4. 考察

カバークロップの効果は多面的であるが、中でもカバークロップ残渣の供給に伴う地力増進効果は、農業生産の持続性を考えていく上で重要である。カバークロップが耕地へ供給する有機物量は裸地の2倍から6倍に相当し、これにより土壤有機物の維持増進や生物相の活性化が期待される。

まず、本研究ではカバークロップ利用による土壤

表2 カバークロップ種および耕うん方法が土壤細菌数に及ぼす影響

耕うん方法	カバークロップ	5月 ($\times 10^7/g$)		7月 ($\times 10^7/g$)		9月 ($\times 10^7/g$)	
		2001	2002	2001	2002	2001	2002
不耕起	クリムソクローバ	—	89.7	17.0	80.9	27.0	87.0
	ライムギ	—	105.0	21.0	67.5	14.0	70.7
	裸地	—	96.3	27.0	76.3	17.0	69.0
プラウ耕	クリムソクローバ	—	82.5	15.0	74.2	6.0	59.7
	ライムギ	—	77.5	12.0	38.3	5.0	42.6
	裸地	—	79.1	6.0	80.3	8.0	53.6
ロータリ耕	クリムソクローバ	—	82.8	22.0	83.7	16.0	84.9
	ライムギ	—	89.7	22.0	87.4	13.0	39.7
	裸地	—	70.5	18.0	59.1	9.0	49.7
有意性検定							
耕うん方法 (T)			NS	*	NS	*	NS
カバークロップ (C)			NS	NS	NS	NS	NS

注) * および NS は 5%水準で有意差ありおよび有意差なしを示す。

表3 カバークロップ種および耕うん方法が土壤線虫数に及ぼす影響

耕うん方法	カバークロップ	5月 (匹/20g)		7月 (匹/20g)		9月 (匹/20g)	
		2001	2002	2001	2002	2001	2002
不耕起	クリムソクローバ	—	342	113	153	262	82
	ライムギ	—	122	252	84	340	149
	裸地	—	181	19	48	160	36
プラウ耕	クリムソクローバ	—	204	37	26	114	34
	ライムギ	—	89	237	9	124	34
	裸地	—	37	17	10	69	21
ロータリ耕	クリムソクローバ	—	156	151	64	116	94
	ライムギ	—	256	276	40	332	120
	裸地	—	108	39	23	88	25
有意性検定							
耕うん方法 (T)			NS	NS	*	*	*
カバークロップ (C)			*	*	*	*	*
T $\times$ C			NS	NS	*	NS	NS

注) * および NS は 5%水準で有意差ありおよび有意差なしを示す。

図5 トビムシ類およびダニ類の個体数の推移 (2002)

有機物含有量の推移について検討した。カバークロップすき込み時には裸地よりも若干高い土壤炭素含有率が表層で認められたが、耕うん処理によりこれらの差異は減少した。これに対し、オカボ収穫期での土壤炭素含有率は2001年では表層においてク

リムソクローバおよびライムギで裸地よりも若干高くなったが、2002年ではこれらの差異は認められなかった。以上の土壤炭素の動態をみると、クリムソクローバおよびライムギ区では裸地と比べて多くの残渣を圃場に還元したが、オカボ収穫期においては、これらの残渣供給は、土壤炭素含有量の増加に明確には結びつかなかった。カバークロップ残渣による有機物量は本実験のデータから試算すると、耕地における0-30cmまでの土壤有機物量の50分の1以下にすぎず、これらの圃場還元が土壤炭素含有量の増加となって反映されるには、カバークロップ残渣の還元の継続が必要となるものと示唆された。

土壤呼吸量は土壤の生物相の活動を把握するうえで重要な指標であり、土壤微生物、作物根、土壤線虫、および土壤動物の活動の結果でもある (Soil Quality Institute 1999)。本実験の結果ではカバーク

ロップ残渣の供給により両年において土壌呼吸量の増加が認められた。カバー・クロープ種別にみると、2001年ではライムギで土壌呼吸量が最も高く、次いでクリムソンクローバで、裸地で最少であった。2002年ではクリムソンクローバが最も多くなった。2001年と2002年のカバー・クロープ残渣の量は両年ともにライムギ>クリムソンクローバであったが、ライムギのC/N比をみると25から33へ上昇している。このことから、ライムギ残渣の分解性の低下が2002年の土壌呼吸量に影響したものと推察された。

耕うん法別にみると、2001年ではプラウ耕とロータリ耕とも耕うん直後は、不耕起に比べて土壌呼吸量が多くなっているが、2002年ではこれらの差異は認められなかった。しかしその後、両年ともに不耕起において土壌呼吸量が増加しており、不耕起条件で生物相の活動が活性化されたものと考えられる。また、両年ともにカバー・クロープ種や耕うん方法による土壌呼吸量の差異が7月下旬以降では認められず、それ以降はおおよそ4kgCO₂/ha/dayに収斂した。一般に、土壌に有機物を供給した場合、一時的には土壌呼吸量は増加するが、その有機物の分解が進むにつれて一定の値に収斂する事が指摘されており(Magdoff 1994)、本研究でも同様に認められた。

土壌水分飽和度の推移をみると、カバー・クロープの残渣は土壌の表面を被覆し、土壌間隙中の水分が蒸発することを抑制し、土壌水分の保持に役立つことが認められた。特に、不耕起の場合、カバー・クロープの残渣は土壌表面に置かれたままであり、土壌表面の被覆率が高く維持された。さらに、ライムギの乾物重が大きく、かつC/N比も高いため、残渣による土壌表面の被覆率を長期間において高く維持したことが観察され、これらの被覆環境下では土壌生物の生存に必要な水分を保持しているものと推察された。

土壌細菌数は2002年では2001年に比べて4から5倍ほど多いが、土壌呼吸量は、2002年に比べ2001年が大きい値を示すなど、土壌呼吸量の増減と土壌細菌数との関係は明確ではなかった。本実験で測定した土壌呼吸は、土壌微生物の活動に加えて土壌動物や線虫あるいは植物根の活動によるものを総じて計測している。そのため、微生物以外の生物活性を反映しているものと考えられる。したがって、現場測定型の土壌呼吸量の測定は比較的簡便であるが、その結果と土壌微生物との関係を直接的に議論するとは難しいものと考ええる。

また、耕うん法と土壌微生物の土中分布については、プラウ耕などの深耕により耕うん深さまで微生物分布が均一化するのに対し、簡易耕うんによっては残渣が地表に分布することから、微生物は地表に集中することが指摘されている(西尾1996)。本実験では、地下2~7cmの土壌を採取して微生物をカウントしたため、耕うん法と圃場全体での微生物数の増加の関係は明確ではない。

土壌線虫数については、カバー・クロープ残渣のすき込みにより著しく増加しており、両年においてライムギ>クリムソンクローバ>裸地となり、有機物の供給量に応じて増加していた。土壌線虫の生息数は土壌の水分、栄養、孔隙量などにより影響を受け、特に、線虫が活動できるのは液体中だけであり、少なくとも薄い水の膜が土壌中に存在することが必要であるとされている(青木1973)。このことからカバー・クロープ利用により有機物を供給することで、自活性線虫のエサとなる微生物数が増加すると同時に土壌水分を保持することで、線虫の生活環境も形成されていると考えられる。また、不耕起で土壌線虫数が多いことは、不耕起条件がいくつかの土壌線虫の生息にとって良好な環境を形成していることが指摘されており(荒城2002)、今後、線虫の種の動態に注目する必要がある。

カバー・クロープ利用や耕うん法と土壌動物数との関連は明確ではなかった。一般に、耕うん作業による土壌攪乱は、土壌動物の生息条件を著しく悪化させるために、耕起した土壌中の土壌動物の種類および個体数が減少することを指摘されているが(藤田1989)、本実験の結果からはロータリ耕においても多くのトビムシ類やダニ類などの土壌動物が検出されている。今回の実験では、日常的にロータリ耕を実施している圃場において調査を実施しており、そこではロータリ耕による攪乱環境に適応する種があるものと予想され、今後検討を進めてみたい。

本研究では、カバー・クロープ導入1年目における耕地生態系生物相への影響を検討してきたが、カバー・クロープの利用や不耕起によって土壌呼吸量が増加し生物相が活性化され、また土壌水分の保持による生物相の生存環境創設などの効果が認められた。しかしながら、これらの効果は土壌線虫数については極めて明確にその生息密度が反応していたのに対し、土壌細菌数や土壌動物数に対する影響は明確には認められなかった。連年的なカバー・クロープ利用による土壌有機物の涵養を通じて地力向上がすでに

報告されているが (Magdoff 1994, Waggoner *et al.* 1998), 今後、どのようなメカニズムにおいて地力涵養がなされていくのか長期的な視点で検討を続けたい。このような農作業と耕地生態系との関連により深く検討することで土壤生物相を含めた総合的な耕地管理手法の開発につながるものとする。

5. 摘要

土壤細菌数, 土壤線虫数, および土壤動物数 (トビムシ類およびダニ類) に及ぼすカバークロップと耕うん方法の影響を調査した。また, 土壤有機物を構成する土壤炭素と土壤呼吸量の変化も合わせて調査し, カバークロップと耕うん方法の体系と土壤生物相の関連を総合的に検討した。

1) 土壤細菌数は, 2001 年をみると, 耕うん方法による差異が認められ, プラウ耕で他の耕うん法にくらべ土壤細菌数が少なかった。しかし, カバークロップ種による差異は認められなかった。また, 土壤動物数は春季に多く見られ, 収穫期には少なくなるなど季節的な消長は認められたが, カバークロップ種と耕うん方法と土壤動物数との関係は明確でなかった。

2) 耕うん作業やカバークロップのすき込みは線虫数に著しく影響を及ぼした。線虫数は耕うん方法別では不耕起が多くなり, カバークロップ種では, 7 月から 9 月までライムギ区で最も多く, 次いでクリムソクローバ区であった。

3) オカボ生育前期の土壤呼吸量は年次間差が大きく, 2001 年の土壤呼吸量は 2002 年より大きな値を示した。しかし, オカボ生育後期では, 両年ともに $4\text{kgCO}_2/\text{ha}/\text{day}$ 程度にすべての処理区で収斂した。耕うん方法別に見ると, 両年ともに 4 月下旬から 6 月までは不耕起区が他の耕うん区にくらべて土壤呼吸量が大きかった。また, カバークロップ別にみると, 2001 年ではライムギ>クリムソクローバ>裸地となり 2001 年ではクリムソクローバ>ライムギ $\geq$ 裸地となった。2002 年でのライムギの C/N 比が上昇していることから, カバークロップ残渣の分解性とその量が土壤呼吸量に影響を及ぼしているものと推察された。

4) 土壤炭素含有率をみると, カバークロップのすき込み前において 2001 年ではクリムソクローバ圃場で, 2002 年ではライムギ圃場が他よりも有意に高い土壤炭素含有率を示し, カバークロップ作付により土壤炭素含有率が増加する傾向が認められた。

しかし, カバークロップすき込み後 (4 月中旬) に以降では, 耕うん方法およびカバークロップ種による差異は認められなかった。オカボ収穫期の 9 月では, 2001 年ではカバークロップ残渣のすき込みにより土壤炭素含有率が表層で増加したが, 2002 年ではそれらの差異は認められなかった。カバークロップ残渣の圃場還元が土壤炭素含有量の増加となって反映されるには, 複数年にわたる残渣の還元が必要であることが示唆された。

引用文献

- 青木淳一 (1973) : 第 1 章 土壤動物とは, 第 5 章 環境の変化と土壤動物, 土壤動物学, 北隆館, 東京, pp.1-16, pp.499-504.
- 荒城雅昭 (2002) : 土壤線虫を指標とした黒ボク土畑における耕起の影響評価, 農業環境研究成果情報 18; 24-25.
- Ditsch, D.C. and M. M. Alley (1991) : Nonleguminous cover crops management for residual N recover and subsequent crop yields. *Journal of fertilizer issues* 8(1); 6-13.
- 藤田正雄 (1989) : 土壤機能・地力増進のための土壤生物利用, 農業および園芸 64(1); 229-234.
- 雁野勝宣 (1993) : 耕地保全, 環境保全から見た耕うんに関する研究動向, 3. 耕うんが環境保全に及ぼす影響, 農作業研究 28(3); 165-171.
- House, G. L. (1989) : Influence of cover cropping and no-tillage practices on community composition of soil arthropods in a North Carolina agroecosystem. *Environmental entomology* 18(2); 302-307.
- 小泉博 (1996) : 第 5 章 炭素循環からみた畑地および水田生態系の持続性, 新たな時代の食料生産システム, 農林統計協会, 東京, pp.75 - 90.
- 駒田旦 (1996) : 第 11 章 土壤病害の総合的防除, 新たな時代の食料生産システム, 農林統計協会, 東京, pp.162 - 181.
- 本田親史 (1970) : 9 全炭素, 土壤養分分析法, 養賢堂, 東京, pp.128 - 134.
- Magdoff, F. (1994) : 2. The living Soil, 7 Cover Crops, 13 Organic Matter Dynamics and Nutrient Availability, BUILDING SOILS FOR BETTER CROPS, University of Nebraska Press, Lincoln and London, pp.11-22, pp.73-89, pp. 133-147.
- 本林隆 (1998) : 土の中の動物たち, 農作業研究 33(2); 91 - 97.

- 中村好男・箱石正 (1981) : 湿润亜熱帯下の耕地における作付方式と土壤動物, *Edaphologia* 24; 1-10.
- Nakamura Y. (1984) : Effect of soil animal on soil habitat modification in nature farming without chemical fertilizer and pesticides, *Pro. 9th. Int. Coll. Soil Zoology*, pp.24-29.
- 中山兼徳 (1984) : 関東・東山地方の耕地利用の現状と問題点, 耕地利用と作付け体系, 栗原浩教授定年退官記念出版会編, 大明堂; 88-105.
- 西尾道徳 (1996) : 第2章 畑の物質変化と微生物, 新・土の微生物, 博友社, PP.26-59.
- 大久保隆弘・桐原三好 (1975) : 作付体系からみた畑作麦の振興対策, *農及園* 50(8); 999-1002.
- Ranells, N. N. and M. G. Wagger (1997) : Winter annual grass-legume biculture for efficient nitrogen management in no-till corn. *Agriculture, Ecosystem & Environment* 65; 23-32.
- Sainju, U. M., B. P. Singh, and W.F. Whitehead (1998) : Cover crop root distribution and its effect on soil nitrogen cycling. *Agron. J.* 90; 511-518.
- Shipley, P. R., J. J. Meisinger, and A. M. Decker. (1992) : Conserving residual corn fertilizer nitrogen with winter cover crops. *Agron. J.* 84; 869-876.
- 斉藤雅典 (2003) : OECD「土壌浸食・土壌生物多様性指標」に関する専門家会合参加報告, *農環研ニュース*, No.59, pp7.
- Soil Quality Institute(1999): *Soil Quality Test Kit Guide*, United State Department of Agriculture, pp.4 - 6.
- Vaughan, J. D., and G. K. Evanylo. (1998): Corn response to cover crop species, spring desiccation time, and residue management. *Agron. J.* 90; 536-544.
- Waggar, M. G. et al (1998): Nitrogen and carbon cycling in relation to cover residue quality, *Soil and water conservation* 53(3); 214-218.
- 渡辺治郎(1989): 作物残渣・緑肥による地力増進, *農業および園芸* 64(1); 223-228.
- Wilson-Rummenie, A. C. (1999): Reduced tillage increases population density of soil macrofauna in a semiarid environment in central Queensland, *Environmental entomology* 28(2); 163-172.

キーワード

カバークロップ, 耕うん, 土壤動物, 土壤呼吸, 土壌線虫, 土壌細菌

Summary

We investigated the changes of soil carbon content and the population of soil microorganisms, soil nematodes and soil animals in upland rice (*Oryza . sativa* L.) production following rye (*Secale creale* L.), crimson clover (*Trifolium incarnatum* L.) and fallow (no cover) under different tillage systems (plow, rotary, and no-till) with 3 replications. The main results obtained for a 2 years field research were as follows.

No-till treatment enhanced soil respiration from 1 month after rice planting to July compared with plow and rotary plots. In 2001, the rye cover crop plot showed the highest soil respiration values for all tillage treatments, followed by crimson clover, and fallow treatment showed the lowest values for all tillage treatments.

Higher soil carbon content was observed in rye and crimson clover plots compared with the fallow plot in April, and this difference disappeared in May. However, that was also higher in the rye and crimson clover plots in September.

The population of soil microorganisms was strongly affected by tillage treatment, with the plow treatment having the lowest in most seasons. In all tillage and cover crop treatments, the population of soil animals was higher in May than in September, but no significant differences were observed among tillage and cover crop treatments.

The population of nematodes was strongly affected by cover crop and tillage treatments. For cover crop treatment, the population was higher in the rye and crimson clover plots than in the fallow plot, and for tillage treatment, the order was no-till > rotary > plow.

Cover crop treatments enhanced the soil respiration, the water holding capacity, soil carbon content and the population of nematodes. These results will be useful for enhancing the biological diversity of community in soils which is important for maintaining a healthy environment for plants.

Key Word

cover crop, tillage system, soil animals, soil respiration, nematode, soil bacteria