

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 24 年 5 月 15 日現在

機関番号：10101

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2009～2011

課題番号：21380151

研究課題名（和文）カバークロップの導入による省資源・温暖化ガス抑制型の有機栽培の確立

研究課題名（英文）Establishment of organic production system with resource-saving and greenhouse gas-reduction by cover cropping

研究代表者

荒木 肇 (ARAKI HAJIME)

北海道大学・北方生物圏フィールド科学センター・教授

研究者番号：30183148

研究成果の概要（和文）：

カバークロップの連続施用により土壌炭素が増加し、各種の土壌内酵素が活性化した。すき込み直後に温暖化ガスが発生したが、不耕起で抑制できた。イネ科のカバークロップはカビによる耐水性団粒の形成を促進した。ヘアリーベッチの分解後に菌根菌も増殖でき、リン酸吸収が支援された。マメ科カバークロップからの無機化窒素は後作作物の生育を促進し、それは圃場へのすきこみやマルチ処理直後から効果があった。カバークロップ導入は代替肥料効果があり、温暖化ガスを低減させる有機農業が可能である。

研究成果の概要（英文）：

Continuous application of cover crops increased soil carbon and activated important enzymes in soil. GHG (Greenhouse gas) was released when cover crops were incorporated, however it was inhibited by no-till cultivation. Fungi increased and water-stable aggregate was formed in the soil with application of gramineous cover crops. Mycorrhizal fungi were proliferated after decomposition of hairy vetch, one of legume cover crops, and supported phosphorus uptake into plant. Much amounts of N released by decomposition of legume cover crops were used for subsequent crops. Cover crops are important tool of organic agriculture with reduction of GHG.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	7,000,000	2,100,000	9,100,000
2010年度	3,100,000	930,000	4,030,000
2011年度	3,300,000	990,000	4,290,000
年度			
年度			
総計	13,400,000	4,020,000	17,420,000

研究分野：農学

科研費の分科・細目：農業工学・農業環境工学

キーワード：農業生産環境

1. 研究開始当初の背景

(1) 有機農業推進法が 2006 年に制定された。食品の安全を求める声を背景に、有機農業への期待が高まっている。しかし、有機栽培

技術のマニュアル化にはいたっていない。農業学会等のシンポジウムでは、有機栽培は低栄養下での自然の摂理による循環体系の農法と説明されるようになり、低投入下で

の科学的知見が求められる。

(2) 石油や肥料資源の高騰から、有機栽培技術でも省資源型栽培技術が求められる。

(3) 温暖化ガス削減には農業からのアプローチも必要である。そのアプローチの基本は作物による炭酸ガス吸収と土壌の炭素隔離であり、農耕地の炭素隔離が試算されている。温暖化ガスとしてメタンや亜酸化窒素にも注目しなければならない。環境省「地球環境保全対策」では、緑肥利用によってCO₂の排出量削減を推奨している。

2. 研究の目的

省資源や温暖化ガス削減を目指した近代的な有機農業体系の実現を目指し、低栄養圃場(2-5年間無肥料または少量施肥圃場)へのカバークロープの導入効果を評価する。すなわち、カバークロープ残渣の分解吸収を安定同位体のトレーサー試験で追跡し、マメ科植物を活用したリン酸の効率的供給を明らかにして省資源化の可能性を探る。土壌有機物含量と生物動態を調査して、有機圃場の生産力・持続性を評価する。圃場における炭素蓄積や亜酸化窒素放出を調査する。以上から長期に生産力を維持し、省資源や温暖化ガス削減になる有機農法を提案する。

3. 研究の方法

(1) カバークロップからの窒素供給と後作作物への移行

①カバークロップー春コムギ体系におけるカバークロップからの窒素供給

北海道大学生物生産研究農場で、春コムギ-カバークロップ栽培体系を2006年8月より開始した。裸地区(Bare)、ヘアリーベッチ単播区(HV)、野生エンバク単播区(B0)および混播区(Mix)を3反復の乱塊法で設置した。8月にカバークロップを播種し、翌年4月に各プロットを耕起および不耕起状態に分け、春コムギ「春よ恋」を畝幅20cm・株間1.3cmで播種した。コムギの収穫後、ロータリー耕起を行い、カバークロップを播種し、同体系を循環させた。施肥はカバークロップ播種時のみ

とした。コムギ、越冬前のカバークロップの全窒素および全炭素を元素分析機(エレメンタル社、Vario EL III)を用いて測定した。

②安定同位体¹⁵Nを活用したヘアリーベッチ由来窒素のトマトへの吸収

カバークロップのヘアリーベッチHVに毎週¹⁵NH₄Clを施用し、安定同位体¹⁵Nが吸収されたHVを育成した。このHVの乾物(地上部28.5g、地下部5g)をワグネルポットの土壌中にすき込み、窒素肥料を0, 8, 24kg/10a施用してトマト「ハウス桃太郎」を栽培した。経時的に5ポットからトマト植物体と栽培土を採取し、安定同位体質量分析計を用いて¹⁵N濃度を測定することで、トマトによるHV由来窒素吸収量の推移を調査した。

③カバークロップの追肥利用での窒素供給

愛媛大学附属農場ガラス温室において、基肥(キーゼライト:Mg資材0.17kg/m²、カキ殻飼料:0.14kg/m²)を施肥後、2010年4月10日にトマト(品種:桃太郎8)を定植した(畝幅140cm、株間50cm)。追肥として5月31日に¹⁵NでラベルしたヘアリーベッチHV(生重631.4g, 19.8gN/m²)とホワイトクローバーWC(生重609.4g, 19.1gN/m²)を表面施用した。化学肥料による追肥として¹⁵N塩化アンモニウムを8月7日まで2週間毎に計5回(1atom%NH₄Cl:0.86gN/m²)を施肥した。トマト生育収量(草丈、葉色値、果実重量)を調査し、また栽培終了時には果房ごとに葉・茎・地下部を分け、トマトに吸収された追肥由来Nの分配割合と利用率を求めた。

(2) 土壌中の酵素活性の評価

(1) -③の栽培土壌を採取し、主要な酵素3種(フォスファターゼ活性・β-グルコシダーゼ・プロテアーゼ)の活性を測定した。

(3) リン酸供給の効率化

圃場で栽培したヘアリーベッチ「まめっこ」の莢伸長後の茎葉部(分解遅速指標としてのC/N比は26、C/P比は136)を細断し、赤玉土を充填した1/5000aワグナーポットにヘアリーベッチを生重で0, 8, 25g混和施

用した (HV0, HV8, HV25)。施用後 34 日目に *Gigaspora margarita* Becker & Hall を含む AM 菌資材 (セラキンコン) の接種区(+AM)と非接種区(-AM)を設け、トウモロコシ ‘ゴールドデント KD850’ を播種し、ビニールハウス内で栽培した。

(4) カバークロップ導入圃場における土壌生物活性の評価

耕起方法とカバークロップの組合せによる土壌微生物の活性化と土壌の改善効果について検討した。茨城圃場 (黒ぼく土, 埴壤土) では, 2003 年から 2009 年まで 3 種の耕起法 (不耕起, 深さ 30 cm のプラウ耕, 深さ 15 cm のロータリー耕) と 3 種の冬季カバークロップ (対照としての裸地, ヘアリーベッチ, ライムギ) の組合せの下に陸稲あるいはダイズを栽培, 北海道圃場 (低地土壌, 軽埴土) では, 2006 年から 2009 年まで 2 種の耕起法 (深さ 15 cm のロータリー耕を秋にのみ行う秋耕と, 年 2 回行うロータリー耕) と 4 種の冬季カバークロップ (裸地, ヘアリーベッチ, 野生エンバク, ヘアリーベッチと野生エンバクの混播) の組合せの下に春コムギを栽培し, いずれも 2009 年に土壌の調査を行った。土壌の微生物活性とカビと細菌の活性比 (F/B 比) は, 抗生物質を用いた基質誘導呼吸 (SIR) 法によって測定した。

(5) カバークロップの連続施用による土壌中の炭素蓄積と温暖化ガス発生の抑制

茨城大学農学部フィールドサイエンス教育研究センター内の圃場で, 試験区は, 2009 年 10 月にロータリー耕後にカバークロップ (イタリアンライグラス, ヘアリーベッチ) を混播した。翌 2010 年に, 圃場耕起について不耕起 (草生), 耕起 (3,5 月) の 2 水準, 施肥も有無 (有は米ぬか; 200kg/10a) の 2 水準を設定して, カボチャとインゲンを栽培し, 土壌炭素と温室効果ガス (CH_4 , N_2O) 発生を調査した (プロットは 10mx5m で 4 反復設定)。土壌炭素は CN コーダーにて分析し, CH_4 と N_2O は毎月専用ガスクロマトグラフ (GC-2014, GC-ECD) で分析した。

4. 研究成果

(1) カバークロップからの窒素供給と後作作物への移行

① カバークロップー春コムギ体系におけるカバークロップからの窒素供給

申請期間にわたり春コムギとカバークロップの 1 年輪作体系におけるコムギのバイオマス生産と窒素吸収量を調査したところ, 施肥を行わなかったのにも関わらず, カバークロップ栽培によってコムギ収量が高水準で維持された。マメ科カバークロップであるヘアリーベッチの導入体系でその傾向が顕著であった。越冬前のカバークロップ内の全窒素量はヘアリーベッチ導入区で高く, 約 13kg/10a の値を示した (図 1)。この値は, 翌年に栽培した春小麦の子実内窒素に匹敵している。

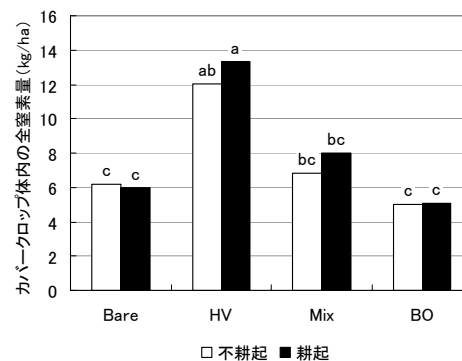


図 1 越冬前のカバークロップ内の全窒素量 (2010 年 11 月)

② 安定同位体 ^{15}N を活用したヘアリーベッチ由来窒素のトマトへの吸収

果実収量は処理間で有意差は認められなかった。トマトの総窒素吸収量は乾物重と同様に 7 週後までは増加し続け, その後も N24 区では増加を続けたが, N8kg, N0kg 区では窒素吸収が止まった。窒素吸収量は N24kg 区が 2 週後から他より有意に高くなり, 土壌・肥料由来窒素吸収量は生育期間を通じて増加し続けた。トマトの HV 由来窒素吸収量は定植 4 週後まで増加させたが, 4 週目以降は増加率が減少し, N24kg 区では更なる吸収は認められなかった (図 2)。

トマト植物体の HV 由来窒素含有率は定植 2

週後に最大となり、N8kg区 N0kg区では全窒素の約50%がHV由来窒素となった。土壌・肥料由来窒素の吸収量の増加率が生育期間を通じてほぼ一定であったのに対し、HV由来窒素の吸収は生育の前半に集中した。

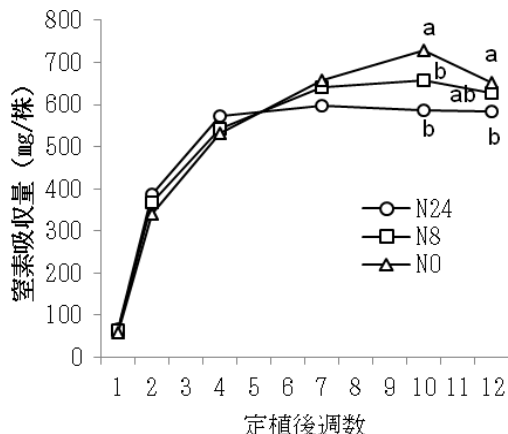


図2 トマトによるHV由来窒素吸収量の推移

③カバークロップの追肥利用での窒素供給

追肥後のトマト草丈および葉色値は処理区間に有意差はなく、同様な経時変化を示した。収量は化学肥料区に比べて緑肥区が非常に高く、WC区 > HV区 > 化学肥料(収量指数 100) < HV(収量指数 144) < WC(収量指数 174)の順になった。HVやWCはトマトへの追肥効

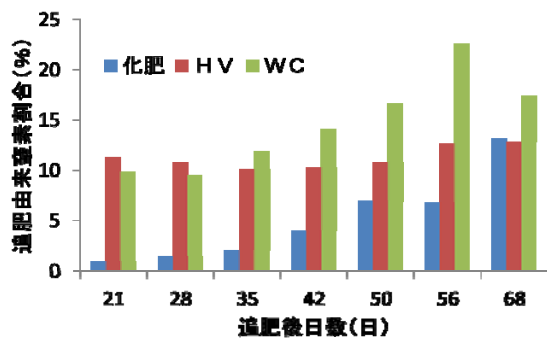


図3 トマト果実に占める追肥由来窒素割合の経時的変化

果が高いことが示された。

HV区、WC区果実中の追肥由来Nの割合は化学肥料区に比べて高く推移した(図3)。化学肥料区は、生育が進むにつれて、果実中の化学肥料由来窒素割合が高くなっていったが、HVやWCでは、収穫初期から緑肥由来窒素が果実に蓄積されており、吸収された窒素

が葉や茎にはあまり蓄積されず、果実に蓄積されやすい特性が明らかとなった。HV区は栽培初期から後期までほぼ一定の割合で緑肥由来窒素が10%程度で安定して果実に蓄積したのに対し、WC区では生育後期ほど、緑肥由来窒素の割合が高くなっていた。

(2) 土壌中の酵素活性の評価

土壌中の養分回転率の指標となる3種類の代表的な土壌酵素活性を測定したところ、フォスファターゼ活性は化肥区に比べて94~210%の増加が確認された(表1)。 β -グルコシダーゼにおいても、緑肥施用により、HV区は45%、WC区で82%の増加が見られた。プロテアーゼ活性は、他の酵素活性に比べて緑肥施用効果が大きく、HV区は化肥区の7.21倍、WC区は6.39倍も高い活性を示した。緑肥施用後に土壌微生物の有機態窒素化合物の分解能力が急速に高まり、有機態窒素や無機態窒素が多量に供給されたと推測される。

表1 土壌酵素活性に及ぼす追肥処理の影響

酵素	酵素活性		
	化学肥料	追肥処理	
		HV	WC
フォスファターゼ	100	194	310
β -グルコシダーゼ	100	145	182
プロテアーゼ	100	721	639

化学肥料施用時を100として表示

(3) リン供給の効率化

いずれのHV処理でも緑肥すき込み後に生育阻害は見られず、34日間の腐熟期間をおくことでトウモロコシの生育は促進された。HV25/+AM区のとウモロコシの生育は他の区に比べて旺盛であった。45日目には、乾物重ではHV25/-AM区の約6倍の値を示し、窒素吸収量も多く、特にリン吸収量では約10倍と著しく高い値を示した(表2)。菌根菌依存度は、HV0区の44%、HV8区の69%に比べてHV25区では87%と最も高く、AM菌の接種効果が大きかった。AM菌感染率は45日目で80~90%と高く、地上部/地下部比(S/R比)はいずれの施用区でも+AM区で有意に高かったことから、45日目には菌糸ネットワークが根

を補完して養分吸収に機能し、その分地下部よりも地上部のシンク機能が增大することが示唆された。AM 接種区では乾物重増加と根長の促進効果も示された。

表 2 トウモロコシの窒素およびリン含有量に及ぼすヘアリーベッチと AM 菌処理の影響

HV (g/pot)	AM	N含有量(mg/plant)			P含有量(mg/plant)		
		Shoot	Root	Total	Shoot	Root	Total
0	-	27.9	9.2	37.1	2.3	0.7	3.1
	+	98.1	42.9	141	14.2	7	21.1
	T-test	**	**	**	**	**	**
8	-	30.6	13	43.6	2.4	0.8	3.2
	+	112.1	44.2	156.3	16.6	7.7	24.3
	t-test	**	**	**	**	**	**
24	-	36.7	16.2	52.9	3.6	1.5	5.1
	+	167.6	63.8	231.2	36.4	13.4	49.8
	t-test	**	**	**	**	**	**

(4) カバークロップ導入圃場における土壤生物活性

茨城圃場では、ライムギは裸地に比べて深さ 0-30 cm で、ロータリー耕は不耕起やプラウ耕に比べて深さ 7.5-15 cm で、微生物 SIR を高く保っていた。微生物 SIR には耕起法とカバークロップの交互作用は認められなかった。北海道圃場では、カバークロップと耕起はいずれも微生物 SIR にあまり影響を与えなかった。いずれの圃場でも、カバークロップ導入で F/B 比が高く、微生物相はカビが優占する傾向にあった。微生物 SIR と F/B 比から推定したカビ SIR は土壤の有機炭素 (SOC) 量や耐水性団粒の平均直径 (MWD) と密接な関係にあったが、ライムギを用いると SOC に対してカビ SIR が顕著に高くなり (図 4)、耕起による土壤の攪乱によってカビ SIR に対して MWD が小さくなった。茨城圃場ではライム

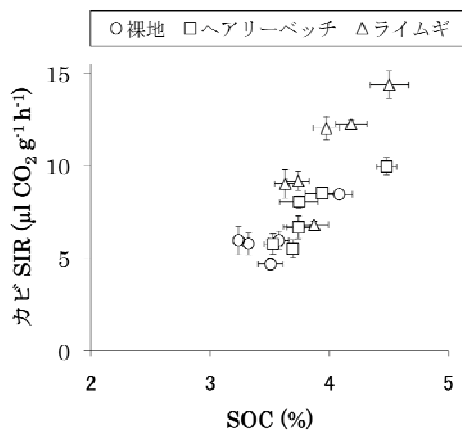


図 4 茨城圃場での SOC とカビ SIR との関係

ギとロータリー耕がカビ SIR, SOC および MWD の増加に効果があり、耕地改善にはカビ活性を高めるような管理法が有効と考えられた。

(5) カバークロップの連続施用による土壤中の炭素蓄積と温暖化ガス発生の抑制

土壤炭素は 8 月と 11 月に、深さ 0-2.5cm において不耕起 (草生) が高くなり、常に存在する植生から有機物供給がなされたためと考えられる。CH₄吸収量、N₂O放出量ともに耕起直後に耕起区で大きな値を示した (図 5)。耕うんにより土壤に酸素が供給され、CH₄の酸化分解、N₂Oの生成が促進されたものとする。年間当たりの CH₄吸収量、N₂O放出量は、処理区間に有意差は認められなかった。

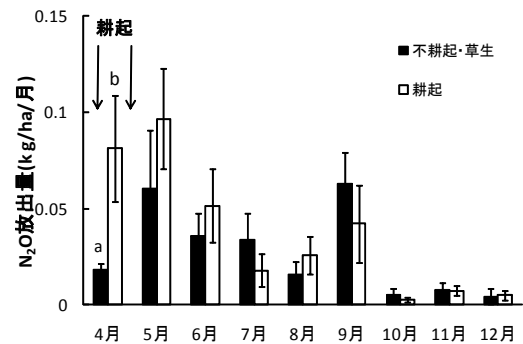


図 5 不耕起と耕起圃場における N₂O の発生

5. 主な発表論文等 (研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 6 件)

- ① Nakamoto T, Komatsuzaki M, Hirata T, Araki H. 2012. Effects of tillage and winter cover cropping on microbial substrate-induced respiration and soil aggregation in two Japanese fields. *Soil Sci. Plant Nutr.* 58, 70-82. 査読有
- ② Iijima, M., Honjo, H., Izumi, Y., Daimon, H., Tani, T., Hayashi, M., Suzuki. 2011. Control of soybean nodule formation by the newly proposed cultivation method of crack fertilization technique. *Plant Production Science* 14:202-212. 査読有

- ③三浦季子, 金子信博, 小松崎将一. 不耕起・草生・低投入栽培下における畑地土壌のミミズを介した可給態リンの供給—茨城県の農家が営む自然農法畑の事例から—有機農業研究 2:30-39. 2010. 査読有
- ④浅木直美, 上野秀人, 西南暖地におけるシロクローバーのすき込みおよびリビングマルチ処理が水稻の生育、収量および土壌アンモニア態窒素濃度に与える影響、農作業研究、査読有、Vol. 44、2009、127-136
- ⑤Asagi N, Ueno H, Nitrogen dynamics in paddy soil applied with various 15N-labelled green manures, Plant and Soil, 査読有、322:251-262. 2009
- ⑥Araki H., S. Hane, Y. Hoshino, and T. Hirata. Cover Crop Use in Tomato Production in Plastic High Tunnel. Hort. Environ. Biotechnol. 50(4):324-328. 2009. 査読有

[学会発表] (計3件)

- ①伊藤崇浩・小松崎将一 カバークロップと耕うん方法が土壌線虫の多様性に及ぼす影響 農作業学会平成23年度春季大会2012年3月24日 筑波大学(つくば市)
- ②宮崎崇史・上野秀人・荒木 肇、マメ科緑肥リビングマルチ栽培におけるトウモロコシ生育およびリン動態、日本土壌肥料学会関西支部会、2011年12月8日、千里ライフサイエンスセンター(大阪府)
- ③Yamada, N. and H. Daimon Influence of different maturation periods of hairy vetch incorporated as green manure on growth of maize inoculated with *Gigaspora margarita* The 20th Anniversary Symposium of JSRR、2011年11月2日、東京大学(東京都)

[図書] (計3件)

- ①松村篤・大門弘幸 夏作緑肥作物；作物栽培体系「第8巻 飼料作物・緑肥作物」大門・奥村編朝倉書店、東京、2012(印刷中)
- ②荒木 肇 冬作緑肥作物；作物栽培体系

「第8巻 飼料作物・緑肥作物」大門・奥村編朝倉書店、東京、2012(印刷中)

- ③小松崎将一 環境調和型農業と地力維持；作物栽培体系「第8巻 飼料作物・緑肥作物」大門・奥村編朝倉書店、東京、2012(印刷中)

[産業財産権]

- 出願状況 (計0件)
○取得状況 (計0件)

[その他]

ホームページ等 ドイツの有機農業調査
2010年ドイツを訪問し、有機農業の実態や課題を検討した。

URL:<http://www.hokudai.ac.jp/fsc/farm/edu/cover.htm>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

荒木 肇 (ARAKI HAJIME)
北海道大学・北方生物圏フィールド科学センター・教授
研究者番号：30183148

(2) 研究分担者

大門 弘幸 (DAIMON HIROYUKI)
大阪府立大学・生命環境科学研究科・教授
研究者番号：50236783

中元 朋実 (NAKAMOTO TOMOMI)
東京大学・農学生命科学研究科・准教授
研究者番号：50184191

上野 秀人 (UENO HIDETO)
愛媛大学・農学部・准教授
研究者番号：90301324

小松崎 将一 (KOMATSUZAKI MASAKAZU)
茨城大学・農学部・准教授
研究者番号：10205510

(3) 連携研究者

平田 聡之 (HIRATA TOSHIYUKI)
北海道大学・北方生物圏フィールド科学センター・助教
研究者番号：60281797