特 集

カバークロップの利用と農作業

畑作でのカバークロップ利用

小松崎将一

茨城大学農学部附属農場

Use of Cover Crops in Upland Fields

Masakazu KOMATSUZAKI

School of Agriculture, Ibaraki University

この10年来、循環型社会構築に向けた国民的議論が進められ、その中で、環境保全型農業の実現には多くの注目が集まっている。とくに、平成11年7月に施行された『食料・農業・農村基本法』の第32条には、「自然循環機能の維持増進」が掲げられ、その関連法案として『持続性の高い農業生産方式の促進に関する法律（持続農業法）』が成立し、各都道府県において環境保全的な農業技術の導入が政策として進められ、「土づくり」「化学肥料の削減」および「農薬の削減」を満たす個別の農業技術の導入が進んでいる。その中で「土づくり」および「化学肥料の削減」対策技術として、緑肥やカバークロップの利用が位置づけられている。環境保全型農業技術の土づくりが堆肥の施用に集中されている中で、カバークロップの利用は作付体系および農作業体系全体からの改善であり、地域環境の保全と農業生産性の維持向上との調和という視点からは、堆肥施用では得られない様々な特徴を有しているものと考えられる。

本特集では、畑作、水田作、野菜作、果樹作、耕うんシステムおよび景観形成の視点から、カバークロップを取り入れた農作業システムの特徴や現段階での研究状況について紹介し、これらの多面的な効果について理解を深めていきたい。本報では、畑作

におけるカバークロップの利用について詳述していくこととする。

カバークロップとは？

江原（1971）は、カバークロップ（被覆作物）とはその目的に関わらず土壌を被覆するのに役立つ作物のことであり、とくに土壌侵食を防ぎ土壌中に有機物を加えて土壌改良に役立つ土壌保護作物であるとし、カバークロップのもつ多面的な機能について詳述している。しかしながら、カバークロップの用語は一般的ではなく緑肥やクリーニングクロップ（清浄作物）などの用語が使われ、カバークロップは、圃場面被覆利用による雑草防除効果を期待して作付する作物のみをさす場合が多い。

近年、農業生産由来の環境負荷の増大と農業生産の持続性確保の視点から、総合的な土壌管理について注目が集まる中で、カバークロップのもつ多面的な効果が期待されるようになってきた（Sarrantonio 1998, Peet 1996）。Magdoff（1994）は、緑肥は耕地に対して肥料的な側面を期待するものであり、清浄作物は残留窒素の吸収を期待するものとし、農耕地生態系の中でそれぞれの持つ機能の中の限定した機能について注目した表現であると述べている。この中で緑肥的效果を期待して作付した作物は、その圃場において肥料的効果のみならず、土壌表面を被覆することで風食防止し、残留窒素を吸収し、かつ休閑期間中の雑草防除など多面的な働きがあることを指摘している。そこで、とくに収穫を期待する以外に広く環境改善および土壌改善に用いられる作物をカバークロップとして捉えたほうが現実的であると述

平成16年1月9日受付

平成16年8月5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

べている。本報においても、カバークロップが多面的な機能をもつものとして広い意味で捉えていくこととする。

耕地生産の持続性

耕地生産の持続性とカバークロップの利用に関して世界でもっとも古い連作および輪作の試験として、米国アラバマ州の Old Rotation 圃場が有名である。この試験は、耕作による土壌劣化が著しい北アメリカ南部において、どのような土壌管理方法が作物の生産性を維持できるのか、という問題について 1896 年から取り組まれたものである。Mitchel *et al.* (1996) は、カバークロップの作付によって綿花の収量を 100 年にわたって高く維持することが可能であり、化学肥料のみでは得られない効果があることを報告している。その理由として、土壌有機物含有量がカバークロップ利用により高く維持されることが生産性持続の鍵となることを指摘している。輪作やカバークロップの利用により土壌有機物含有量が高まることは周知のことでもある。しかしながら、現実には 100 年間という土壌管理において土壌そのものが変化し、農作業という人間の働きかけに対して、まったく異なる生産性を示す事実は、わが国の農業生産の持続性を考えていくうえで示唆の多いものと考ええる。

土壌保全効果

カバークロップは、播種後、生育が早く早期に土壌表面を被覆することで、土壌水食 (water erosion) や風食 (wind erosion) を抑制することから、土壌保全効果には古くから高い関心が払われている (Sustainable Agriculture Network 1998)。そこではカバークロップの地上部や根の働きによって雨滴や風から土壌を直接保護することと、土壌水の浸透力を向上させて土壌流亡を防ぐことが指摘されている (Dabney 1998)。

一方、水田農業を基本とするわが国ではカバークロップによる土壌保全効果に関する研究は少ない。しかしながら、ここ数年、春先になると北関東地域の畑作地帯を中心として、土埃が舞い上がることに、地域住民から苦情が出始めている。例えば茨城県においては、つくば市議会では土埃対策について議論され (平成 14 年 12 月定例議会)、また東海村議会においてサツマイモ (乾燥いも用) 収穫あとの土埃対策など (平成 15 年 3 月定例議会)、問題が少しずつ

注目を浴びつつある。茨城県など北関東の畑作の多くは、昭和 40 年頃まで冬作の麦類と結合し、地力保全的な管理がなされていた (中山 1984)。しかし、麦類の価格の低迷から冬作での作物栽培は皆無となり (大久保・桐原 1975)、夏作物収穫後の管理として、春雑草の繁茂を防ぐために、数回にわたるロータリ耕うんを実施しているのが現状である。このことにより、冬から春にかけて圃場での植生はなくなり、土壌の乾燥を早め、強風によって土が舞い上がるという現象をもたらしている。

この土埃は、住環境の悪化や浮遊粒子状物質 (SPM) として人間の呼吸器やアレルギー反応へ及ぼす影響が危惧されるが (Maejima *et al.* 2001)、農業生産の面でも損失が大きい。この土壌風食は土のなかでもっとも肥沃な表土が剥ぎ取られてしまうものであり、土壌という再生不可能な資源の消失でもある。これらの土壌風食を防ぐ方法としては、カバークロップの作付が有効であることが指摘されている (Stephan *et al.* 1999)。

水質保全効果

耕地からの残留窒素の溶脱による流域内での水質低下問題は、今後、ますます重要になることが指摘されている (小川 2000)。北関東など茨城県における畑地からの窒素の溶脱は、秋季と春季など冬作期間中に多く認められ、この期間は月間の降水量よりその間の蒸発量が著しく少ないために、土壌水分が地下方向へ向かうことで溶脱が激しくなることが指摘されている (有原 1999)。

カバークロップの利用は夏作物を収穫した後の耕地内の残留窒素を吸収し、窒素の溶脱を防ぐことで効率的な耕地内の窒素サイクルの構築に役立つことが期待される (McCracken *et al.* 1994, Waggener *et al.* 1998)。カバークロップにはイネ科のものとマメ科のものがあるが、残留窒素の回収に効果的なものはおもにイネ科のものであり (Ditsch and Alley 1991)、残留窒素の吸収能力が高く、冬作において 40 ~ 100 kgN/ha の土壌残留窒素の吸収に役立つことが知られている (Shipley *et al.* 1992, Kessavalou *et al.* 1999)。そこでは、ライムギ、エンバク、コムギ、イタリアンライグラスなどが利用されている。例えば、ライムギは 10 月から 3 月までの生育期間において地上部のみで 150 kgN/ha 吸収するのに対し、クリムゾンクローバでは 48 kgN/ha であり、裸地 (雑草区) では 19 kgN/ha にとどまっており、とくにライムギ

で土壤中 30-90cm の土層の無機態窒素含有量を低下させることで、地下水などへの窒素の溶脱を未然に防ぐことが示唆されている (辜ら 2004)。

耕地の残留窒素の溶脱については、化学肥料などを使用しない有機農業生産の場面でも、同様に危惧される。とくに有機肥料は化学肥料に比べて土壤中での分解が緩やかであり、作物収穫後にも溶脱がすすむことから有機農業圃場由来の残留窒素汚染に関心が高まりつつある (越野 1989, 村本 1990)。著者らは、化学肥料および有機肥料施用条件下で、ジャガイモ収穫後にイネ科カバークロップ (ヒエおよびソルゴー) の作付の有無と窒素の動態について検討した結果、とくに有機肥料区において残留窒素量が化学肥料区より多く認められ、カバークロップの作付によって土壤無機態窒素含有量が著しく低下した (小松崎ら 2004)。このことは化学肥料を有機肥料への代替のみでは、残留窒素の溶脱など環境保全対策の面では十分でなく、カバークロップの導入など作付体系全体から改善していくアプローチが必要であることを示唆している。

マメ科による窒素供給

マメ科カバークロップの利用においてもっとも期待される効果は、生物的窒素固定による吸収窒素を後作へ供給することである (Clark *et al.*, 1994, 1997, Araki and Ito 1998, Sainju and Singh 2001)。また、C/N 比が低いためにカバークロップの吸収窒素を後作ですばやく利用できることや (Kuo *et al.*, 1997), Reseeding により、植生維持が可能なものもあり、経営的にメリットが大きい (Komatsuzai 1998, 2001)。しかし、C/N 比が低いために土壤中での分解がはやく土壤有機物の涵養には役立たないことや、遅まきをする著しく乾物収量が劣るために作付体系に組み込むには制限がある (Sustainable Agriculture Network 1998)。

マメ科カバークロップが後作物へ移譲する窒素の量については多くの研究がなされており、15～200kgN/ha の範囲内で認められているが、一般的には 60～100kgN/ha の報告が多い (Reeves 1993)。Wagger (1989) は、マメ科カバークロップの後作への窒素の移譲量は、カバークロップの分解特性と後作物の窒素吸収パターンに大きく影響を受けることを指摘し、アメリカ南部では、40～45kgN/ha が 2 年間の圃場実験での平均値であることを報告している。著者はサブタレニアン・クローバの reseeded を

利用した作付体系において、飼料用トウモロコシによるサブクローバの吸収窒素の利用率について調査した結果、トウモロコシはサブクローバより 50～70 kgN/ha の窒素の供給を受けており、マメ科カバークロップの利用によって一定量の施肥量を削減することができことが示された (Komatsuzaki 2002)。

この一方で、北海道において平島ら (1973) は、後作のイネ科牧草による前作のマメ科牧草の窒素の貢献度は 20% 以下であることを報告しており、マメ科カバークロップの窒素の貢献度については、地域性、種類および後作物の吸収窒素パターンなどの要因が複雑に関連していると考えられる。

地力の涵養と生物相への影響

秋播きのカバークロップを導入した作付体系は、残渣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, Wagger *et al.* 1998)。また、それにより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も期待されている (Magdoff 1994)。

カバークロップを連年作付けすることで土壤有機物含有量が増加することは多くの報告で認められているが (Reeves 1997), その増加量は短期的には極めて少ないものと考えられる。辜ら (2004) は、カバークロップの種類と耕うん方法が土壤炭素含有量に及ぼす影響を検討したが、カバークロップ残渣を耕地へ還元することによって、土壤の呼吸量が増加し、土壤生物の活性化は認められたが、後作のオカガ収穫期での土壤炭素含有量はカバークロップの有無による差異は認められなかったことを報告している。また、土壤炭素含有量の変化はカバークロップの還元の有無よりも耕うん方法による差異が大きく、とくに不耕起栽培で表層での土壤炭素含有量の増加が認められている。このため、カバークロップ導入による地力の涵養には短期的な効果と長期的な効果があるものと考えられ、それらはカバークロップ残渣を圃場還元する耕うん方法に大きく影響を受けるものと考えられる。

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指摘されている (Wilson-Rummenie 1999)。一方、辜ら (2004) は、

カバークロップ利用によって土壌線虫数の増加は認められたが、土壌微生物数および土壌動物数については明確な差異が認められなかったことを報告している。

カバークロップの利用と土壌線虫との関連については、主として植物寄生性線虫の抑制の場面で検討されており、ヘイオーツ、マリーゴールド、ギニアグラス、クロタリヤなどの根から線虫に有害な物質を分泌することで有害線虫の密度を低下させることが知られている（近岡ら 1982, 北島 1994）。ここでは有害線虫撃退のための作物を線虫対抗作物として位置づけて検討しているが、線虫対抗作物も圃場に還元されれば有機物として地力改善の一定の影響を及ぼすこと。例えば、Bonnie *et al.* (2001) は、マリーゴールド後作においてその残渣由来の窒素により、土壌中の無機態窒素含有量が増加することを指摘し、線虫抑制と同時に後作での肥料削減効果を示唆している。また、これらの残渣は有機物として土壌中の生物の栄養源となることから、土壌生物の多様性に寄与する可能性が高いものと考えられる。

雑草防除効果

カバークロップとして用いられる作物の中には、アレロパシー活性（植物がもっている天然の物質が体外に放出され、他の植物などに影響を及ぼす作用）が、極めて高いものがあり、これらを被覆することで「雑草を持って雑草を制する」抑草作用が注目されている。アレロパシー活性が高いカバークロップとして、ヘアリーベッチやライムギなどがあげられている（藤井 2000）。カバークロップによる雑草抑制作用は、アレロパシー作用と遮光による相乗効果とされており、Creamer *et al.* (1996) は、ライムギ、ヘアリーベッチおよびクリムソンクローバ被覆による物理的防除効果とアレロケミカルによる防除効果について比較し、雑草防除作用は物理的な遮蔽による効果が大いだが、アレロパシー作用の相乗効果により雑草抑制力が高まることを指摘している。

畑作におけるカバークロップの雑草抑制作用については、不耕起トウモロコシ栽培においてマメ科カバークロップの利用により 68～70%の雑草抑制を示すことなどが報告されている（Fisk *et al.* 2001, Caamal-Maldonado 2001）。わが国では果樹作および水田作での研究事例があるが（藤井 1990, 堀元 2002）畑作を対象としたものは少ない。今後わが国での不耕起畑作研究と併せて、カバークロップ利用

による雑草抑制効果の検討が求められる。

カバークロップ利用の問題点

カバークロップ利用についてはいくつかの問題点が指摘されている。もっとも農家が懸念するのはカバークロップ導入のための種子コストであろう。わが国でのカバークロップ種子の多くは、米国などに比べてかなり高価である。Reeves (1994) は、米国におけるカバークロップの種子コストについて 1ha あたりライムギで 2600 円、クリムソンクローバで 5,800 円、ヘアリーベッチでは 5,500 円程度あり、播種に関わる機械作業コストを加算しても 4,200～7,400 円程度であるとしているが、わが国の場合、著者の試算によれば、1ha あたり種子コストのみで 17,000～33,500 円となり播種作業コストを加算すると 22,700 から 38,600 円と増加し、米国よりも高価である（小松崎 1999）。

カバークロップ導入のためのコスト削減策としては、マメ科カバークロップの reseedling を活用することにより 1 回の播種で数年にわたり夏作物栽培と組み合わせで植生を維持する方法がある。著者らは、サブタレニアンクローバの reseedling を活用し、5 年間にわたってトウモロコシ栽培条件下で植生を維持したことを報告している（Komatsuzaki 1998, 2001）。また、屑コムギなどをカバークロップ種子として代替利用することで、種子コストを削減している農家事例もある。マメ科のカバークロップを導入した場合、施肥量を削減することで種子コストを相殺できることや（Reeves 1994）、投入エネルギーの側面からカバークロップ利用は投入/算出エネルギー比を改善することなどの報告があるが（肥田ら 2004）、農作業システム全体から評価した研究は少ない。カバークロップのもたらす多面的な効果が経営的にその導入のためのコストを上回るのかどうかは今後、重要な視点となるものと考えられる。

また、カバークロップ残渣を圃場還元した後の播種作業システムについても問題が多い。カバークロップをブラウ耕により鋤き込むと慣行の播種機利用によって容易に後作物の出芽を確保でき、またロータリ耕であると、耕うん前のカバークロップの刈倒しとロータリの耕うんピッチの調整によって播種床作成が可能である（辜ら 2002）。しかしながら、カバークロップ被覆条件下での播種作業については、既往の不耕起播種機では播種床形成が不完全となることや、リゾクトニア菌など土壌病害が発生し易く

なるなど後作物生育に障害が現れる場合が報告されている (Reeves 1994)。これらの対策として、不耕起播種機の作条部にカバークロップ残渣を作条箇所から一定距離を移動させることで出芽率が向上するという報告もあり (Debney 1996)、今後検討する必要がある。

まとめ

カバークロップは、生育期間中に土壌表面を被覆することで、土壌を保全し、養分の溶脱を防ぎ、かつ畑の休閑期間中を活用して太陽エネルギーを固定し有機物を耕地へ供給する。また、後作においては残渣由来の養分を供給し、圃場表面被覆による雑草抑制作用も認められる。このようにカバークロップは耕地生態系に多面的な影響を与えることが大きな特徴であるが、現行の農作業システムに導入するにはいくつかの問題点も指摘できる。さらに、カバークロップのもつ効果は、それぞれの種類に応じて、地域や作付作物との組み合わせによってその効果発現は一樣ではなく、個別の問題点もあるものと考えられる。

耕地生態系におけるカバークロップの生態的地位 (niche) をどのように位置づけていくのかという課題は、今後、耕地の持続的な利用を考えると、ますます重要になるものと考えられる。

文 献

- Araki H., and M. Ito (1998) : Soil properties and vegetable production with organic mulch and no-tillage system, Japan. J. of Farm Work Research, 34(1) : 29-37.
- 有原文二 (1999) : 第二章 作物の窒素吸収力をいかにして環境保全, 現代輪作の方法, 農文協, 東京, pp.121-148.
- Bonnie R. Ball-Coelho, L.B. Reynolds, A. J. Back, and J. W. Potter (2001) : Residue Decomposition and Soil Nitrogen are Affected by Mowing and Fertilization of Marigold, Agron. J., 93: 207-215.
- Caamal-Malconado, J. A., J. J. Jimenez-Osornio, A. Torre-Barragan, and A. L. Anaya (2001) : The use of allelopathic legume cover and mulch species for weed control in cropping systems, Agron.J., 93:27-36.
- 近岡一郎・大林延夫・椎名清治 (1982) : 緑肥作物等の夏作への導入とキタネグサレセンチュウおよびサツマイモネコブセンチュウの発生動向, 日本線虫研究会誌, 11 : 19-23.
- Clark, A. J., A. M., Decker, and J. J. Meisinger (1994) : Seeding rate and kill date effects on hairy vetch-cereal rye cover crop mixtures for corn production, Agron.J., 86:1065-1070.
- Clark, A. J., A.M., Decker, J. J. Meisinger and M. S. McInotosh (1997) : Kill date of vetch, rye, and a vetch-rye mixture: I. Cover crop and corn nitrogen, Agron.J., 89:434-441.
- Creamer, N. G., M. A. Bennet, B. R. Stinner, J. Cardina, and E. E. Regnir (1997) : Mechanisms of weed suppression in cover crop-based production systems, HortScience, 31(3):410-413.
- Dabney, S. M., J. D. Schrieber, C. S. Rothrock, and J. R. Johnson (1996) : Cover crop affect sorgum seedling growth, Agron. J. 88:961-970.
- Dabney, S. M. (1998) : Cover crop impact on watershed hydrology, Soil and Water Cons., 53(3):207-213.
- 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.
- 江原薫 (1971) : 第17章 土壌保全と被覆作物, 栽培学大要, 養賢堂, 東京, pp254-266.
- Fisk, J. W., O. B. Hesreman, A. Shrestha, J. J. kells, Richard R. Harwood, J. M. Squire, and C. C. Sheaffer (2001) : Weed suppression by annual legume cover crops in not-tillage corn, Agron.J., 93 : 319-325.
- 藤井義晴 (1990) : ヘアリーベッチの他感作用による雑草の制御ー休耕地・耕作放棄地や果樹園への利用ー, 農業技術, 50(5) : 199-204.
- 藤井義晴 (2000) : アレロパシー植物の作用と利用, アレロパシー他感物質の作用と利用, 農文協, 東京, pp114-159.
- 幸松・小松崎将一・森泉昭治・高橋雅之・池田正則 (2002) : カバークロップの種類と刈取りの有無がロータリ耕うん性能に及ぼす影響, 農作業研究, 37(2) : 13-23.
- 幸松・小松崎将一・森泉昭治・牟英輝 (2004) : カバークロップの利用と土壌窒素動態, 農作業研究, 39(1) : 9-16.
- 幸松・小松崎将一・太田寛行・本林隆・森泉昭治・山口昌良 (2004) : オカボ栽培でのカバークロップ

- ブと耕うんシステムが耕地の土壤炭素および生物相に及ぼす影響, 農作業研究 (印刷中) .
- 堀元栄枝・荒木肇・伊藤一幸・藤井義晴 (2002) : ヘアリーベッチ (*Vicia villosa* Roth) を利用した水田における雑草制御と水稲収量への影響, 雑草研究, 47(3) : 168-174.
- 肥田健・米川智司・久保田浩史・秦野茂 (2004) : 不耕起栽培やクルムゾンクローバをカバークロップに用いたソバ栽培のエネルギー評価, 農作業研究, 39(別1) : 159-160.
- 平島利昭・能勢公・袴田共之・奥村淳一 (1973) : 極寒冷地における放牧草地の維持管理法 第1報 イネ科牧草に対するシロクローバの窒素移譲, 北海道立農試集報, 23 : 44-54.
- 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.
- Kessavalou Anabayan, and Daniel T. Walter (1999) Winter Rye Cover Crop Following Soybean Under Conservation Tillage : Residual Soil Nitrate, Agron. J., 91 (Jul.-Aug.) : 643-649.
- 北島美津子 (1994) : 対抗作物「ヘイオーツ」のセンチュウ抑制効果とダイコン栽培体系への組み入れ, 牧草と園芸, 42(3) : 13-18.
- Komatsuzaki, M., S. Moriizumi and O. Endo (1998) : Subterranean Clover Reseeding and Seed Survival in Upland Fields, Japanese Journal of Farm Work Research, 33(2):69-72.
- 小松崎将一 (1999) : カバークロップ利用と農作業システム, 平成11年度日本農作業学会小集会要旨, 日本農作業学会, pp9-10.
- Komatsuzaki, M., S. Moriizumi and O. Endo (2001) : Subterranean Clover Management to Enhance Reseeding in Silage Corn Production, Japanese Journal of Farm Work Research, 36 (1) : 3-8.
- Komatsuzaki, M. (2002) : New Cropping Strategy to Reduce Chemical Fertilizer Application to Silage Corn Production Using Subterranean Clover Reseeding, Japanese Journal of Farm Work Research, 37(2) : 1-11.
- 小松崎将一・日向明珠・安部真吾 (2004) : ジャガイモ・ブロッコリー輪作体系での夏作カバークロップの利用, 農作業研究, 39 (別1) : 25-26.
- 越野正義 (1989) : 「有機農業」と化学肥料, 農業および園芸, 64(1) : 117-122.
- Kuo, S., U. M. Sainju, and E. J. Jellum (1997) : Winter cover cropping influence on nitrogen mineralization, presidedress soil nitrate test, and corn yields, Biol. Fertil. Soils, 22:310-317.
- 小川吉雄 (2000) : 第1章 農業と地下水の硝酸汚染, 地下水の硝酸汚染と農法転換, 農文協, 東京, pp.20-38.
- 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.
- Peet, M. (1996) : Chapter 1 Soil Management, Sustainable practices for vegetable production in the south, Focus Publish, R. Pullins Company, MA, U.S.A., pp.1-28.
- Reeves, D. W. (1997) : The role of soil organic matter in maintaining soil quality in continuous cropping systems, Soil & Tillage Research, 43:131-167.
- Reeves, D.W. (1993) : Cover crop and rotation, In J.L.Hatfield (eds), Crops Residue Management, CRC Press, Boca Raton, FL, pp125-172.
- 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.
- Sainju, U. M., and B. P. Singh (2001) : Tillage, cover crop, and kill-planting date effects on corn yield and soil nitrogen, Agron. J., 93: 878-886.
- Sarrantonio M. (1998) : Building fertility and tilth with cover crops, Managing cover crops profitably, Sustainable agriculture network, Maryland, U. S. A., pp.16-24.
- Shipley, P. R., J. J. Meisinger, and A. M. Decker (1992) : Conserving Residual Corn Fertilizer Nitrogen with Winter Cover Crops. Agron. J., 84(Sep.-Oct.) : 869-876.
- Stephan, D. M., A. L. Black, D. W. Fryear, A. Saleh, T. M. Zobeck, A. D. Halvorson, and D. L. Tanaka. (1999) : Soil wind erosion hazard of spring wheat-fallow as affected by long term climate and tillage, Soil Sci. Soc. A m. J., 63 : 1768-1777.
- Sustainable Agriculture Network (1998) : Managing cover crop profitably, 2nd Edition. Sustainable Agriculture Network Handbook Series, Book 3. Sustainable Agriculture Research and Education, Washington DC.

- Maejima K, K. Tamura, T. Nakajima, Y. Taniguchi, S. Saito, H. Takenaka (2001) : Effects of the inhalation of diesel exhaust, Kanto loam dust, or diesel exhaust without particles on immune responses in mice exposed to Japanese cedar (*Cryptomeria japonica*) pollen, *Inhalation Toxicology*, 13: 1047-1063.
- Magdoff, F. (1992) : 7 Cover Crops, BUILDING SOILS FOR BETTER CROPS, University of Nebraska Press, Lincoln and London, pp73-90.
- McCracken, D. V., M. S. Smith, J. H. Grove, C. T. MacKown, and R. L. Blevines (1994) : Nitrate leaching as influenced by cover cropping and nitrogen source, *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 58;1476-1483.
- Mitchell, C. C., F. J. Arriaga, J. A. Entry, J. L. Novak, W. R. Goodman, D. W. Reeves, M. W. Rungen and G. J. Traxler (1996) : The old rotation. 1896-1996. 100 years of sustainable cropping research, Alabama Agricultural Experiment Station Bulletin, AL, pp1-26.
- 村本穰司 (1990) : 有機農法, 土の世界, 「土の世界」編集グループ編, 朝倉書店, 東京, pp98-99.
- 中山兼徳 (1984) : 関東・東山地方の耕地利用の現状と問題点, 耕地利用と作付体系, 栗原浩教授定年退官記念出版会編, 大明堂, pp88-105
- 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. (1989) : Cover crop management and nitrogen rate in relation to growth and yield on No-till corn, *Agron. J.*, 81:533-538.
- Waggar, M. G., M. L. Cabrera, and N. N. Ranells (1998) : Nitrogen and carbon cycling in relation to cover residue quality, *Soil and water conservation*, 53(3), 214-218.
- 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 semiaride environment in central Queensland, *Environmental entomology*, 28(2) : 163-172.