研究報文

カバークロップの種類と残渣処理が不耕起播種機利用時の トラクタの所要動力に及ぼす影響

趙 艶忠*・趙 鉄軍**・小松崎将一***

* 中国東北農業大学工程学院

** 東京農工大学連合農学研究科

*** 茨城大学農学部

Tractor Power Requirement of No-Tillage Seeder under
Different Cover Crop Residue Management

Yanzhong ZHAO*, Tiejun ZHAO** and Masakazu KOMATSUZAKI***

* College of Agricultural Engineering, Northeast Agricultural University, China

** Tokyo University of Agriculture and Technology

*** College of Agriculture, Ibaraki University

1. 緒言

緑肥やカバークロップの利用は『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）』にもとづく各都道府県における環境保全的な農業技術の導入政策の中で、「土づくり」および「化学肥料の削減」対策技術として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観点からは、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。とくに、冬作のカバークロップの作付は土壌浸食や雑草の抑制、養分供給、環境負荷を軽減するなど効果があり、地域環境の持続性の向上に貢献する技術として注目されている（Touchton *et al.* 1982, Edelhar *et al.* 1984, Wagger *et al.* 1989, Oyer *et al.* 1990, Araki *et al.* 1998）。

カバークロップを利用した農作業システムに関する研究では、カバークロップ作後の夏作物栽培のための耕うん法について、不耕起で播種する場合（Triplett *et al.* 1996, Myers *et al.* 1991, Ranells *et al.* 1992, Wagger 1989）、緑肥としてプラウですき込む場合（西崎 1995, Wood *et al.* 1991）、およびロータリ耕による場合などがある（安江 1993, 後藤 1995, 幸ら 2002）。プラウ耕やロータリ耕によるすき込み方法については技術的にほぼ完成しているのに対し、不耕起播種技術については研究段階のものが多く、

不耕起栽培は雑草抑制（Teasdale 1993）、施肥量削減（Sainju *et al.* 1997, Abdul-Baki *et al.* 1997）、保水性維持（McVay *et al.* 1989）などの効果が期待できることが欧米を中心とした研究で明らかになってきた。日本では不耕起播種機を用いることで、播種前の耕起・砕土及び中耕培土作業が省略でき、作業能率を $1.7 \sim 2.7 \text{ h} \cdot \text{ha}^{-1}$ と省力的に作業できることが報告されている（岩手県農業研究センター 2003）。不耕起栽培は米国などで広く普及しているが、日本と中国などアジアではまだ普及には至っていない。中国での不耕起播種機の作業性に関する研究をみると、作物残渣量が播種精度、播種深度、発芽率など不耕起播種機の作業性に及ぼす影響が研究されているが（Liu *et al.* 2008,

平成 21 年 9 月 25 日受付

平成 22 年 2 月 13 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 Chuou, Ami, Inashiki, Ibaraki, 300-0393, Japan

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

Gong *et al.* 2008), カバークロップ利用条件下での検討事例は少ない。一方、日本では不耕起播種機技術については麦作後の作業性に関する研究がなされ(金谷ら 2005), また, カバークロップ残渣で被覆した圃場での機械播種した場合の作物の成長についての報告(荒木ら 2006) などがあるのみであり, 多様なカバークロップ利用条件下で, 現在普及している汎用型の不耕起播種機の作業性に関しての検討事例は少ない。とくに, 現行の不耕起播種体系では, 耕うんを前提としたトラクタが利用されているため不耕起播種動力に必要となる動力以上の駆動力を保持するトラクタが用いられ, 不耕起栽培継続に伴う土壌硬度の上昇をもたらし, 不耕起栽培での生産性阻害の大きな要因となっている(Ferreras *et al.* 2000)。そのため, より少ない駆動力のトラクタを中心として作業可能な栽培システムの構築は不耕起播種技術を低コスト, 省エネルギーで実現するために必須である。

本研究では, カバークロップの種類と残渣処理方法が汎用型の不耕起播種機利用時のトラクタの所要動力に及ぼす影響を検討し, カバークロップ利用と組み合わせた不耕起播種機の効率的な利用体系について考察する。

2. 材料および方法

1) 供試圃場およびカバークロップ処理方法

供試圃場は茨城大学農学部附属フィールドサイエンス教育研究センターである(土性: CL, LiC)。平成20年10月17日にロータリで耕うんし, カバークロップとしては, ヘアリーベッチ (*Vicia villosa* Roth.), ライムギ (*Secale cereale* L.), ヘアリーベッチとライムギの種子を混播する区(以下, 混播区を称する)を設定した。供試圃場の面積は1処理区あたり4 m×20 mとした。播種量はヘアリーベッチ区で52 kg/ha, ライムギ区で104 kg/ha, 混播区でヘアリーベッチ52 kg/ha, ライムギ52 kg/haとした。

カバークロップの残渣処理は残渣を除去する区(残渣除去区), フレールモアでカバークロップ残渣を約5 cmに細断した区(フレールモア区), 草刈機で刈り倒し区(刈り倒し区)を設けた。カバークロップの細断作業にはフレールモア(松山, FNC1601)を用い, 刈り倒しには肩掛式の草刈機を用いた。

汎用型不耕起播種機(三菱農機製 MJSE18-6, 6条, 作業幅1.8 m)の作業時は, トラクタはMF133(エンジン出力28 kW, 2360 cc, エンジン回転数1000 rpm, PTO1速)を用いて, ダイズ種子(品種: エンレイ)を播種した(写真1)。

写真1 試験風景と供試した不耕起播種機の構造

注: Aは測定作業風景, Bは汎用型不耕起播種機の寸法, およびCは圃場断面図を示す。

2) 不耕起播種機の所要動力の測定

試験は2009年4月22日と5月10日に実施した。計測システムは電磁式トルクメータ（日計電測株式会社, TQR-600NF65M3）、A/D変換器、およびノートパソコンなどから構成した（写真2）。トルクメータの定格容量は600 N・mであり、トラクタのPTO軸に取り付けたトルクメータと回転計（小野測器, TM-2130）より得られたデータは、アナログ計測変換器（アズワン製, AK-V1）を介してUSBで接続したノートパソコンにリアルタイムで記録した。PTO軸の所要動力（以下、所要動力と称す） P (kW) は、PTO軸トルク T (N・m)（作業期間、全部採様点の平均値）、PTO軸回転数 n (rpm) より次式を用いて算出した。

$$P = \frac{Tn}{9550}$$

3) 作業および圃場条件の測定

試験前には圃場条件を把握するために0～5 cmまで土壌乾燥密度（乾熱法）、0～12 cmの土壌水分および0～12.5 cmの深さ2.5 cmごとの土壌硬度（SC900 Soil Compaction Meter, Spectrum

Technologies, Inc.）（3反復）を測定した。さらに、0.25 m²のコドラートを用い、それぞれのカバークロップの乾物重を測定した。また、播種作業後に不耕起播種機による播種溝深さおよびダイズ種子の播種深さ（3反復）を測定した。

3. 結果および考察

1) 圃場および作業条件

カバークロップの種類別の圃場条件をみると、土壌水分はカバークロップ区で裸地より高かったが、土壌乾燥密度は裸地およびカバークロップの種類間では同等の値を示した。また、カバークロップの乾物重は、4月22日に比べると、5月10日ではライムギ区で60%増加し、混播区では31.2%増加した（図1）。これに対しヘアリーベッチでは、両者に差異は少なかった。

土壌硬度は、表層ではカバークロップの種類間での差異は認められなかったが、6 cm以下の土層では裸地区に比べてカバークロップ区で土壌硬度が増加した（図2）。

一般に不耕起条件下では裸地に比べてカバークロップ利用により土壌硬度が減少することが指摘

写真2 トラクタのPTO軸へのトルクメータの取付位置図

図1 カバークロップ残渣量の乾物重

注：横軸の記号はHV：ヘアリーベッチ，RY：ライムギ，HV+RY：ヘアリーベッチ+ライムギの混播を示す。

表1 圃場試験時の土壌条件

調査日	項目	裸地	ヘアリーベッチ	ライムギ	ヘアリーベッチ +ライムギ
4月22日	土壌水分 (%)	10±0.68	26±7.2	14±1.26	15±4.2
	土壌乾燥密度 (g/cm³)	0.59±0.02	0.61±0.02	0.63±0.02	0.67±0.04
5月10日	土壌水分 (%)	12±0.82	16.3±4.5	13.7±1.24	16±4.5
	土壌乾燥密度 (g/cm³)	0.60±0.02	0.61±0.02	0.63±0.02	0.62±0.02

注：平均値±標準誤差を示す。

図2 カバークロップ別での土壌硬度

注：1) 凡例の記号はF：裸地，HV：ヘアリーベッチ，RY：ライムギ，HV+RY：ヘアリーベッチ＋ライムギの混播を示す。
2) Aは4月22日，Bは5月10日のデータを示す。

されているが(牟ら2007)，今回の実験ではカバークロップ播種時にロータリ耕うんを行っており，裸地区で土壌が膨軟な状態で冬期間を推移したのに対し，カバークロップ区では根系の発達などにより土壌硬度がやや高い値を示したものと考える。しかしながら，不耕起播種機の播種溝深さは8から9cm前後であり，これらの土壌硬度の差異は不耕起播種機の所要動力へは直接影響を及ぼすことは少ないものと考えた。

2) カバークロップの種類と残渣処理がトラクタの所要動力に与える影響

カバークロップの種類と残渣処理別のトラクタPTO軸トルクと回転数を図3に示した。これを見ると，回転数の変動範囲は4月22日では282～294rpmであり，5月10日では278～294rpmであった。またトラクタの作業速度は0.35m/sであり，PTO回転数と作業速度は処理間での差異が少なかった。これに対し，PTO軸トルクをみると，カバークロップの種類と残渣処理および作業時期により大きな差異が認められた。

PTO軸トルクは，作業時期別にみると5月10日のほうが4月22日に比べて大きくなった。また，カバークロップの種類別にみると裸地区のトルクが最も小さく，次いでヘアリーベッチであった。PTO軸トルクはライムギ区で最も大きくなったが，混播区では，ライムギ区に比べてPTO軸トルクはやや減少した。さらに，カバークロップの残渣処理別にみると，PTO軸トルクは残渣除去区で最も小さくなり，次いでフレールモア区で

図3 カバークロップ種類と残渣処理別の不耕起播種機のPTO軸トルクと回転数

注：1) 横軸の記号はF：裸地，HV：ヘアリーベッチ，RY：ライムギ，HV+RY：ヘアリーベッチ＋ライムギの混播を示す。
2) エラーバーは標準誤差を示す。

あり，刈り倒し区で最も大きなトルクを要した。

カバークロップの種類と残渣処理別の播種溝深さを図4に示した。播種溝深さの変動範囲は4月22日では8.3～11cmであり，5月10日では6.8～11.3cmであった。カバークロップの種類別に見ると裸地とヘアリーベッチでは播種溝深さは変わらなかったが，ライムギおよびヘアリーベッチとライムギの混播ではやや浅くなった。ライムギや混播などカバークロップ残渣の量が多い区では，播種溝深さがやや浅くなる傾向が認められた。これに対し，カバークロップの残渣処理別では播種溝深さの差異がほとんど認められなかった。また，これらの区のダイズの播種深さはいずれも2～3cmの範囲内であり，播種作業上の問題

図 4 カバークロップ種類と残渣処理別で不耕起播種機の播種溝深さ

注：1) 横軸の記号は F：裸地，HV：ヘアリーベッチ，RY：ライムギ，HV+RY：ヘアリーベッチ＋ライムギの混播を示す。
2) エラーバーは標準誤差を示す。

は認められなかった。

カバークロップの種類と残渣処理別での PTO 軸所要動力を図 5 に示した。これをみるとカバークロップの種類と残渣処理別での所要動力は、PTO 軸トルクと同様の傾向を示した。作業時期別にみると、5 月 10 日の所要動力は 4 月 22 日より 51.1～171.7% 増加した。また、カバークロップの種類別にみると、裸地のトルクがもっとも小さく、次いでヘアリーベッチであった。これに対し、ライムギでは最も大きい所要動力を必要とし、ライムギとヘアリーベッチの混播ではライムギに比べて所要動力がやや減少した。また、残渣処理別にみると、残渣除去区がもっとも所要動力が小さかったが、刈り倒し区ではフレールモア区に比べて所要動力が 24.8～197.0% 増加した。

これらのデータをみると、カバークロップ残渣は、不耕起播種機利用時のトラクタの PTO 軸トルクを増加させ、結果として所要動力を増加させるなど大きな作業負荷となることが認められた。特にライムギ区では所要動力が最も大きく、これに対してヘアリーベッチ区では所要動力は裸地とほぼ同等であった。このことから、カバークロップ残渣が不耕起播種機の所要動力に及ぼす影響を考えると、カバークロップ残渣の物理的な性質に大きく影響をうけるものと考えられる。ライムギやヘアリーベッチの茎の剪断応力をみると、ヘアリーベッチに比べてライムギで大きいことが認められており(趙ら 未発表)、このためカバークロップ

図 5 カバークロップ種類と残渣処理別での不耕起播種機を利用した時の所要動力

注：1) 横軸の記号は F：裸地，HV：ヘアリーベッチ，RY：ライムギ，HV+RY：ヘアリーベッチ＋ライムギの混播を示す。
2) エラーバーは標準誤差を示す。

ブ残渣の物理的な特性が不耕起播種機の所要動力に影響を及ぼしているものと考えた。また作業時期が遅くなるのに従ってカバークロップの乾物重が増加したことで、4 月 22 日に比べて 5 月 10 日で所要動力が大きくなったものとする。

3) カバークロップの残渣量が不耕起播種機の所要動力に与える影響

カバークロップ残渣量あたりの所要動力を図 6 に示した。これをみると、5 月 10 日に比べると、4 月 22 日の不耕起播種機の所要動力が著しく減少した。また、カバークロップの種類別にみるとライムギに比べてヘアリーベッチやライムギとヘアリーベッチの混播区でカバークロップ残渣あたりの所要動力が減少した。また、残渣処理別にみると刈り倒し区に比べてフレールモア区では所要動力が著しく小さい値を示した。

一般にカバークロップの残渣量が多くなるほど、不耕起播種機を稼動するための所要動力は大きくなるが(趙ら 2009)、今回の試験において最も残渣量が大きかったライムギとヘアリーベッチの混播区において、カバークロップ残渣量あたりの所要動力がヘアリーベッチと同等の低い値を示したことは興味深い。カバークロップの混播技術は、有機物確保や後作物への窒素供給などの点で注目されているが(Sainju *et al.* 2006)、混播技術が不耕起播種機の作業性に及ぼす影響を検討した事例は少ない。そのため、混播により不耕起播種機の所要動力を減少させることができることは、

図6 カバークロップ残渣量あたりの所要動力
 注: 1) 横軸の記号は HV: ヘアリーベッチ, RY: ライムギ, HV+RY: ヘアリーベッチ+ライムギの混播を示す。
 2) エラーバーは標準誤差を示す。

日本における汎用型不耕起播種機とカバークロップの利用の組み合わせを考慮した農作業システムを構築していく上で重要な知見となるものと考えられる。

以上の結果から、カバークロップの利用条件下で不耕起播種機の作業性を確保するには、イネ科とマメ科のカバークロップを混作し、十分な乾物重を確保しかつフレールモアによる細断と組み合わせることで、より駆動力の小さなトラクタを中心とした機械化体系が可能であることが認められた。

今回の報告では、カバークロップの種類と残渣処理が不耕起播種機の作業動力に及ぼす影響について検討を進めてきたが、不耕起播種機の作業性を総合評価するには作物残渣が溝切りローターに絡まることや、作物残渣が播種溝形成に悪影響を及ぼすこと、種子の播種深さおよび播種量、播種間隔などについても詳しい調査が必要である。これらの点については今後検討を進める予定である。

また、不耕起播種機は土壌硬度の大きい圃場での播種作業に対応するため作業機の質量の増加などの問題もあり、不耕起播種作業におけるトラクタ動力を削減するためには PTO 軸動力以外にも 3 点リンクの揚力などの観点からの検討も重要である。不耕起栽培は農業生産に要する投入エネルギーを慣行の農業システムに対して削減することができるが、より少ない駆動力で不耕起播種可能な

作業システムを開発するには、作業動力のみならず作業機械構造の観点から検討する必要がある。

4. 摘要

本研究では、カバークロップの種類および残渣処理による不耕起播種機利用時のトラクタの所要動力の差異を検討した得られた結果は以下のとおりである。

1) カバークロップの種類別にみると、ライムギ区に比べてヘアリーベッチ区や混播区で不耕起播種機利用時の所要動力が減少した。

2) カバークロップの残渣処理により、不耕起播種機利用時の所要動力に差異が認められた。草刈り機による刈り倒しに比べてフレールモアでのカバークロップ残渣の細断により、所要動力は減少した。

3) カバークロップ残渣量が多くなると、不耕起播種機利用時の所要動力が著しく大きくなった。カバークロップ残渣あたりの所要動力をみると、ライムギ区が最も大きくなったが、ヘアリーベッチ区と混播区では、残渣量あたりの所要動力は減少した。

4) カバークロップの利用条件下で不耕起播種機の作業性を確保するには、イネ科とマメ科のカバークロップを混播し、十分な乾物重を確保しかつフレールモアによる細断と組み合わせることが有効であることが認められた。

キーワード

カバークロップ, 不耕起播種機, 所要動力, ライムギ, ヘアリーベッチ

引用文献

- Abdul-Baki, A.A., J.R. Teasdale and R.F. Korkak (1997): Nitrogen requirements of fresh-market tomatoes on hairy vetch and black polyethylene mulch, HortScience 32 (2); 217-221.
- 荒木 肇・石本光明・松尾信由・伊藤道秋 (2006): カバークロップ残渣で被覆した不耕起圃場の土壌硬度と機械播種したダイズの初期成長, 農作業研究 44 (4); 180-184.
- Araki, H., M. Ito (1998): Soil properties and vegetable production with organic mulch and no-tillage system. Japanese Journal of Farm

- Work Research 34 (1) ; 29-38.
- 趙 艶忠・趙 鉄軍・小松崎将一 (2009) : カバークロップ利用条件下での不耕起播種機の作業性, 農作業研究第 44 (別 1) ; 117-118.
- Edelhar, S.A., W.W. Frye and R.L. Blevins (1984) : Nitrogen from legume cover crop for no-tillage corn, *Agron. J.* 76 ; 51-55.
- Ferreras, L.A., J.L. Costa, F.O. Garcia, and C. Pecprari (2000) : Effect of no-tillage on some soil physical properties of a structural degraded Petrocalcic Paleudoll of the southern "Pampa" of Argentina. *Soil Tillage Res.* 54 ; 31-39.
- Gong, L., H. Gao and J. Jiang (2008) : Experimental study on power dissipation of corn root-stalk treatment device of no-tillage planter, *Transactions of the CSAE* 24 (7) ; 124-127.
- 辜 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 (1) ; 13-23.
- 後藤隆志 (1995) : 有機物の施用方法と機械利用, 土壤施肥編, 農業技術大系 ⑤, 農山漁村文化協会, 東京, 164 ; 10-13.
- 岩手県農業研究センター (2003) : ダイズ不耕起播種機の作業特性, 岩手県農業研究センター研究レポート No 209, 岩手県.
- 金谷 豊・梅田直円・長坂善偵・国立卓生 (2005) : LCA 手法による不耕起播技術の環境負荷軽減効果の試算, 農作業研究第 40 (別 1) ; 1-2.
- 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) ; 63-71.
- Liu, F. and B. Chen (2008) : The influence about straw mulching quantity to the no-tillage planter performance, *Science and Technology of Tianjin Agriculture and Forestry*, 10 (5) ; 32-33.
- McVay, K.A., D.E. Radcliffe and W.L. Hargrove. (1989) : Winter legume effects on soil properties and nitrogen fertilizer requirements, *Soil Sci. Soc. Am. J.* 53 ; 1856-1862.
- 牟 英輝・小松崎将一・森泉昭治・辜 松・荒木肇・平田聡之 (2007) : オカボ栽培でのカバークロップの利用と耕うん方法が土壌物理性に及ぼす影響, 農作業研究 42 (1) ; 11-20.
- Myers, J. and M.G. Waggoner (1991) : Reseeding potential of crimson clover as a cover crop for no-tillage corn, *Agron. J.* 83 (6) ; 985-991.
- 西崎邦夫 (1995) : 緑肥の機械化栽培, トラクタ処理技術, 緑肥の利用と機械化栽培, 農業機械学会北海道支部, pp.30-34.
- Oyer, L.J. and J.T.T. Touchton (1990) : Utilizing legume cropping system to reduce nitrogen fertilizer requirements for conservation-tilled corn. *Agron. J.* 82 ; 1123-1127.
- Peet, M. (1996) : Sustainable practices for vegetable production in the south, Focus publish, R. Pullins Company, MA, U.S.A, pp. 1-29.
- Ranells, N.N. and M.G. Waggoner (1992) : Crimson clover management to enhance reseeding and no-till corn grain production, *Agron. J.* 85 (1) ; 62-67.
- Sarrantonio, M. (1989) : Selecting the best cover crops for your farm, *Managing cover crops profitably*, Sustainable Agriculture Network, MD, U.S.A, pp. 12-15.
- Sainju, U.M. and B.P. Singh (1997) : Winter cover crops for sustainable agricultural systems : influence on soil properties, water quality, and crop yields. *HortScience* 32 ; 21-28.
- Sainju, U.M., Whitedhead, W.F., Singh, B.P. and Wang, W. (2006) : Tillage, cover crops, and nitrogen fertilization effects on soil nitrogen and cotton and sorghum yields, *Europ. J. Agronomy* 25 ; 372-382.
- Teasdale, J.R. (1993) : Reduced-herbicide weed management systems for no-tillage corn in a hairy vetch cover crop, *Weed Technol.* 9 ; 113-118.
- Touchton, J.T., W.A. Garder, W.L. Hargrove and R.R. Duncan (1982) : Reseeding Crimson clover as a N source for no-tillage grain sorghum production. *Agron. J.* 74 ; 283-287.
- Triplett Jr., G.B., S.M. Dabney and J.H. Siefker (1996) : Tillage Systems for Cotton on Silty

Upland Soils. *Agron. J.* 88 ; 507-512.

Waggoner, M.G. (1989) : Cover crop management and nitrogen rate in relation to growth and yields on no-tillage corn. *Agron. J.* 81 ; 533-538.

Wood, C.W., J.H. Edwards and C.G. Cummins (1991) : Tillage and rotation effects on soil organic matter. 1991 Southern Conservation Tillage Conference, Arkansas, pp. 103-106.

安江多輔 (1993) : 日本におけるレンゲの栽培管理および利用, レンゲ全書, 農文協, 東京, pp. 80-98.

Summary

No-tillage with cover crop has great potential to improve soil quality, however, it is still not clear what no-tillage seeding technique should be used under cover crop residue mulch in upland crop production. In this research, to identify the optimum no-tillage seeding management, no-tillage seeder performance and power requirement were measured in relation to different cover crop residue management.

The tractor power required for the no-tillage seeder was higher with rye cover crop than hairy vetch and a mixture of rye and hairy vetch. Cover crop residue also showed a significant difference in the power required by the no-tillage seeder. Mowing the cover crop significantly reduced the power requirement compared with bush cutting. Termination of cover crop growth was another factor that significantly affected the power required. Late April growth termination of cover crop showed a lower power requirement than early May growth termination. As the amount of cover crop residue increased, the power requirement also increased, although the rye and hairy vetch mixture showed relatively lower power requirement. These results suggest that rye and hairy vetch mixture and mowing treatment are appropriate for using a no-tillage seeder under cover crop residue mulch.

Key Words

Cover crops, No-tillage seeder, Power requirement, Rye, Hairy vetch