

秋まき小麦の簡易耕の導入が土壌物理性と小麦の生育に及ぼす影響

稲野 一郎*1・前野 眞司*1・鈴木 剛*2

要 旨

秋まき小麦の播種作業体系に簡易耕を適用したときの土壌物理性と生育量の関係について検討した。黒ボク土では簡易耕区の固相率は47%以上とプラウ区に比べ10ポイント以上高く、越冬前の固相率が高いほど越冬後の茎数が大きかった。多湿黒ボク土ではチゼルプラウとスプリングハローによる耕うん作業によって越冬前の気相率がプラウとロータリハローによる慣行法より高く、越冬前の気相率が高くなると、越冬後の茎数が大きくなる傾向にあった。

[キーワード]: コーン指数, 固相率, 気相率, 茎数

The Influence of Minimum Tillage on Soil Physical Characteristics and Growth of Winter Wheat

Ichiro INANO*1, Shinji MAENO*1, Takeshi SUZUKI*2

Abstract

The objective of the research reported here was to compare a minimum tillage system with a conventional tillage system for winter wheat with respect to soil physical characteristics and crop growth. In a field of andosol soil, the solid-phase rates of soil that was cultivated using a minimum tillage implement were over 10 points higher than those achieved using a moldboard plow. The higher the solid-phase rate of soil before winter, the greater was the number of wheat stems after winter.

In a wet andosol field, the gaseous-phase rate of soil cultivated using a chisel plow or a spring-tooth harrow was higher than that obtained by conventional tillage using a rotary harrow following a moldboard plow. Similarly, the higher the gaseous-phase rate of soil before winter, the greater was the number of wheat stems after winter.

[Keywords]: cone index, solid-phase rate, gaseous-phase rate, number of stem

I はじめに

北海道十勝地方において平成20年度の秋まき小麦の生産量は233Mtであり、これは北海道内の生産量の45%、全国の小麦生産量の26%を占める(農林水産省, 2010)。秋まき小麦の播種適期は9月中~下旬(土屋, 2004)で、その前作は馬鈴しょが多く、収穫後、直ちに小麦の播種に取りかかることが多い。この時期、台風や秋雨前線の影響を受け、降雨日が多いことに加え、ポテトハーバスタの作業能率が11h/haと低能率であるため(北海道農政部, 2005)、秋まき小麦の播種を適期に行うことは難しい。それゆえに小麦の播種作業期間を短縮する必要が

あり、馬鈴しょ収穫後の耕起作業を反転耕から簡易耕に変更する農家が増えてきた。欧米では簡易耕は反転耕に比べ、低コスト、高能率、土壌水分の保持やエロージョンの減少などで有利とされている。このような特徴から簡易耕や不耕起などの省力耕法は、傾斜地や排水性の良い土壌で発達、普及してきた経過がある(Fausey, 1984)。それは、土壌水分が制限された条件下では、水分保全効果を持つ不耕起栽培やミニマムティレージなどの省力耕法が慣行法より高い収量レベルを示すためである。省力耕法は反転耕に比べ、土壌水分が高くなることが報告されており(Mielkeら, 1984)、欧米に比べ、降雨量が多く、土壌水分が高い十勝地方では、作土層の堅密化や湿

*1 北海道立総合研究機構中央農業試験場(〒069-1395 北海道夕張郡長沼町東6線北15号 TEL:0123-89-2287) Hokkaido Research Organization Central Agricultural Experiment Station, Naganuma-cho, Hokkaido 069-1395, Japan; inano-ichiro@hro.or.jp

*2 北海道立総合研究機構十勝農業試験場(〒082-0071 北海道河西郡芽室町新生南9線2番地 TEL:0155-62-9814) Hokkaido Research Organization Tokachi Agricultural Experiment Station, Memuro-cho, Hokkaido 082-0071, Japan

害発生の危険性を孕んでいる。

十勝地方の全耕地面積の32%が黒ボク土、17%が多湿黒ボク土である(中央農業試験場, 1993)。保井らは多湿黒ボク土の心土層の気相率が著しく低いため、テンサイの生育・収量が劣ることを報告した(保井ら, 2000)。一方、小川らは石狩地方における多湿黒ボク土での簡易耕の継続で作土下層の粗孔隙量は反転耕に比べると著しく少ないが、作物の根群発達を著しく阻害することはなく、簡易耕導入の可能性を認めている(小川ら, 1988)。昨今、欧米に倣い、簡易耕うん機が導入されつつあるが、土壌および作物に与える影響については明らかにされていない。本報では秋まき小麦播種前の耕うんに簡易耕うん機を使った作業体系が越冬前後の土壌物理性や作物生育におよぼす影響を多湿黒ボク土と黒ボク土で明らかにした。

II 試験方法

1. 試験ほ場および調査日

(1) 黒ボク土

十勝農業試験場内の乾性黒ボク土(褐色火山性土)で1畦用ポテトハーベスタによるバレイショ「メイクイン」を収穫後の圃場で、播種前にライムソーで施肥作業を行った。施肥量はN:P₂O₅:K₂O=4.0:6.7:3.3(kg/10a)である。2003年10月1日に播種、11月11日と4月14日に生育・土壌物理性調査を行った。作土の粒径組成は粗砂:細砂:シルト:粘土=26.0:39.5:27.0:7.4であった。

(2) 多湿黒ボク土

芽室町内の多湿黒ボク土(厚層黒色火山性土)で1畦用ポテトハーベスタによるバレイショ「メイクイン」収穫後の圃場で、播種前にブロードキャスタで施肥作業を行った。施肥量はN:P₂O₅:K₂O=6.4:20.0:8.0(kg/10a)である。2003年9月20日に播種、11月11日に生育調査を行った。作土の粒径組成は粗砂:細砂:シルト:粘土=27.8:38.6:23.5:0.9であった。

2. 供試耕うん機

試験に供試した簡易耕うん機は3タイプ、4機種である(表1)。スプリングーツスハロー「ASH250TURBO」は作業幅が2.5mで、幅40mmのスプリングーツスが前7本、中6本、後7本の計20本で構成されており、最後部に2連のケージローラが装着されている。スプリングタイムカルチベータ「VSIK-9」は作業幅が2.3mで幅70mmのスプリングーツスが前4本、後ろ5本の計9本で構成されており、後方にケージローラが1本装着されている。チゼルプラウ「CS-901」は作業幅が2.4mで幅45mmのシャンクが前4本、後5本の計9本で構成されており、最後部にケージローラが装備されている。

3. 秋まき小麦播種作業体系

各土壌における耕うん法を表2に示す。黒ボク土の慣行法として1次耕うんにボトムプラウを、2次耕うんにロータリハローを用いた(以下プラウ区と称す)。簡易耕法としては1次耕うんのみでロータリハロー(以下ロータリ区と称す)とスプリングハロー(以下スプリング区と称す)を用いた。グレンドリルは「TDW-8GD」を用い、「ホクシン」の種子9kg/10aを播種した。

多湿黒ボク土における慣行法は黒ボク土と同じである。簡易耕うん機として、ロータリハロー(以下ロータリ区と称す)、チゼルプラウ(以下チゼル区と称す)、スプリングカルチベータ(以下スプリングカルチ区と称す)を用いた。チゼル区とスプリングカルチ区の2次耕うんにはスプリングハローを用いた。播種にはグレンドリル「TDJ-14TD」を使い、「ホクシン」の種子9kg/10aを播種した。

4. 調査項目

(1) 土壌物理性

土壌硬度の測定は、SR-II型(大起理化学工業(株)DIK-5500)による円錐貫入抵抗(円錐底面積2cm²)を1処理3か所測定し、深さ5cmごとのコーン指数の平均値

表1 供試耕うん機

作業機	作業幅 (mm)	作用深 (mm)	歯かん			ケージローラ (個)	
			形状	種類	幅 (mm)		
スプリングハロー	2,500	50~200	湾曲	ばね	40	7-6-7	2
スプリングタイム カルチベータ	2,300	100~500	湾曲	ばね	70	4-5	1
チゼルプラウ	2,400	200~400	湾曲	剛体	45	4-5	1
(黒ボク土)							
ボトムプラウ	1,520	200~320					
ロータリハロー	3,000	50~150	耕耘爪	外径540mm	本数6×15		
(多湿黒ボク土)							
ボトムプラウ	1,380	180~300					
ロータリハロー	2,800	50~160	耕耘爪	外径460mm	本数6×16		

表2 作業工程

試験は 土壌タイプ	処理区	() 内は耕深 (cm)	
		一次耕うん	二次耕うん
黒ボク土	ブラウ区	ボトムブラウ(30)	ロータリハロー(10)
	ロータリ区	ロータリハロー(10)	
	スプリング区	スプリングハロー(10)	
多湿	ブラウ区	ボトムブラウ(20)	ロータリハロー(11)
黒ボク土	ロータリ区	ロータリハロー(9)	
	チゼル区	チゼルブラウ(28)	スプリングハロー(12)
	スプリングカルチ区	スプリングカルチ*(20)	スプリングハロー(12)

*スプリングタインカルチベータ

で表した。

畑土壌の砕土率は通常土塊径10mm以下の質量割合で示されており(農業機械学会, 1984), JIS標準規格の篩いを用い, 土塊径9.5mm以下の質量割合を測定した。採土深さは, 砕土整地後の膨土深とし, サンプルは直径200mmの円筒を用いて, 採取した。1試験区につき, 3か所を計測し, その平均値を用いた。

土壌三相の計測試料は, 地表から深さ20cmまで, 5cm毎に採土缶を用いて採取した。気相率は実容積測定器(大起理化工業, DIK-1120)を用いて計測し, 液相率は105℃-24時間絶乾法で算出し, 気相率と液相率の和を100%から減じて固相率を算出した。

(2) 生育量

出芽数は18cm×50cmの出芽数を, 草丈は20本の値を1試験区5反復計測し, 求めた。株数, 茎数は30cm×50cmの株数と茎数を1試験区5反復計測し, 求めた。地上部乾物重は30cm×50cmの地上部を切断し, 風乾後質量を1試験区5反復計測し, 求めた。

Ⅲ 試験結果

1. 簡易耕うん作業体系と土壌物理性

(1) 黒ボク土

ブラウ区の土壌硬度は, 越冬前後で0.6MPa以下であり, 積雪や融雪の影響で硬くなることはなかった(表3)。ロータリハロー区は砕土深までは0.5MPa以下であったが, それより深くなると, 耕起区を上回った。スプリングハロー区は耕起区を上回り, 越冬前後で1.8MPa以上とかなり高い値であった。

砕土の状態はブラウ区よりもスプリング区が良好で, 土塊径9.5mm以下の割合が大きかった。反転した土壌を砕土するブラウ区に対し, ポテトハーベスタ通過後の膨軟な土を砕土するスプリング区の砕土性が高かった。

ブラウ耕起区の気相率は越冬前後で30%以上を維持していた(表4)。ロータリ区, スプリング区の気相率は越冬前で20%程度であったが, 越冬後では26~28%と増加した。これは冬期間の土壌凍結によってアイスレンズが形成され, 春先の気温の上昇によって融解した後が空

表3 播種前の砕土率と越冬前後のコーン指数の変化(黒ボク土)

処理区	砕土率 (%)	層位 (cm)	コーン指数 (MPa)	
			11月11日	4月14日
ブラウ区	71.9	10~20	0.40	0.33
		20~30	0.40	0.37
ロータリ区	73.1	10~20	1.33	1.03
		20~30	2.17	1.65
スプリング区	96.4	10~20	1.95	1.85
		20~30	2.21	1.82

*土塊径9.5mm以下の割合(%)

表4 越冬前後の気相率と固相率(黒ボク土)

処理区	層位 (cm)	気相率 (%)		固相率 (%)	
		11月11日	4月14日	11月11日	4月14日
ブラウ区	0~10	37.9	39.6	28.7	27.9
	10~20	31.9	30.4	34.5	35.8
ロータリ区	0~10	36.7	36.0	30.1	32.0
	10~20	20.6	25.6	46.5	41.6
スプリング ハロー区	0~10	33.2	31.6	34.5	36.5
	10~20	20.7	28.2	47.6	39.5

表5 越冬前後のコーン指数の変化(多湿黒ボク土)

処理区	耕うん機*	砕土率** (%)	層位 (cm)	コーン指数(MPa)	
				11月11日	4月14日
ブラウ区	RH	46.7	5~10	0.54	0.63
			10~20	1.11	0.94
ロータリ区	RH	83.2	5~10	0.49	0.68
			10~20	1.48	0.94
チゼル区	CP	67.0	5~10	0.54	0.47
	SH	58.7	10~20	0.82	0.77
スプリング カルチ区	ST	74.6	5~10	0.46	0.50
	SH	61.0	10~20	1.10	0.70

*RH:ロータリハロー, CP:チゼルブラウ, SH:スプリングハロー, ST:スプリングタインカルチベータ

**土塊径9.5mm以下の割合(%)

隙として残ったためと推測される(土谷ら, 1984)。越冬前の深さ10~20cmにおける固相率は簡易耕区で47%以上であったが, ブラウ区では35%と10ポイント以上の差があった。

(2) 多湿黒ボク土

ブラウ区は下層から反転された土壌を砕土するため, ロータリ区に比べ砕土率が最も低かった(表5)。4処理区とも深さ5~10cmの砕土層はコーン指数が小さく, 越冬後も変化量は小さかったが, 越冬前(11月11日)の深さ10~20cmでは処理区間でコーン指数に差があった。耕深28cmのチゼル区では深さ20cmまでの層において, 越冬前後のコーン指数変化量は小さかった。スプリング

表6 越冬前後の気相率と固相率 (多湿黒ボク土)

処理区	層位 (cm)	気相率 (%)		固相率 (%)	
		11月11日	4月14日	11月11日	4月14日
プラウ区	0~10	28.6	33.0	29.6	24.8
	10~20	15.7	20.0	42.2	36.6
ロータリ区	0~10	31.9	28.7	26.9	30.6
	10~20	20.5	2.2	38.8	56.8
チゼル区	0~10	41.9	31.7	16.4	26.9
	10~20	26.9	18.1	31.3	39.5
スプリング	0~10	23.6	16.2	36.5	42.8
カルチ区	10~20	11.1	23.7	49.2	34.4

カルチ区の耕深はチゼルプラウ区とほぼ同じであったが、越冬前の深さ10~20cmのコーン指数は、チゼルプラウ区よりやや値が大きくなった。チゼルプラウは犁体が剛体であるため、犁の幅で反転する。一方、スプリングタイムカルチベータは犁体がバネ鋼であるため、バイブレーションによる砕土作用はあるが反転作用はない。これらの違いが、チゼルプラウとスプリングタイムカルチベータのコーン指数の差となって表された。

越冬後におけるロータリ区の深さ10~20cmの気相率は2.2%と低く、小麦の根はほぼ窒息状態であった(表6)。プラウ区の10~20cmの気相率は15.7%と小さかったが、越冬後は20%に達していた。トラクタや収穫機などの作業機が走行することによって土壌表面が締め固められるため、プラウで反転したとき、土壌表層部が深さ10~20cmに移動し、気相率が低くなったと考えられる。チゼル区は越冬後の深さ10~20cmにおいて18%と20%をやや下回ったが、全処理区中で最も安定していた。スプリングカルチ区は越冬前の深さ10~20cmで11%と低く、越冬前に湿害のリスクが全処理区中最も高かった。

2. 簡易耕うん作業体系が小麦の生育に及ぼす影響

(1) 黒ボク土

播種20日後のプラウ区の出芽数は、簡易耕区と同じであったが、草丈はやや劣った(表7)。越冬前の生育状況でも株数、茎数で簡易耕区がプラウ区を上回っていた。越冬後の茎数はスプリング区とロータリ区がそれぞれ643本/m²、595本/m²と高く、プラウ区は392本と簡易耕区との差が大きかった。

(2) 多湿黒ボク土

10月9日の出芽数、草丈はプラウ区と簡易耕区の差はほとんど無かったが、越冬前(11月11日)では簡易耕区の茎数、乾物重がプラウ区を上回った(表8)。越冬後の茎数はチゼル区が1600本/m²と最も大きく、プラウ区とロータリ区は1400本/m²前後、スプリングカルチ区は最も小さかった。また、越冬前後の変化量は、チゼル区とプラウ区の約300本/m²の増加に対し、ロータリ区はほぼ変動無く、スプリングカルチ区は減少した。一般に、

表7 出芽及び越冬前後の生育状況 (黒ボク土)

調査日	10月20日		11月11日			4月14日	
	出芽数 (本/m ²)	草丈 (cm)	株数 (株/m ²)	茎数 (本/m ²)	乾物重 (g/m ²)	茎数 (本/m ²)	草丈 (cm)
処理区							
プラウ区	235	6.6	178	231	10	392	11.1
ロータリ区	233	7.8	264	500	22	595	11.4
スプリング区	228	7.5	240	578	25	643	11.1

表8 出芽及び越冬前後の生育状況 (多湿黒ボク土)

処理区	10月9日		11月11日			4月14日	
	出芽数 (本/m ²)	草丈 (cm)	株数 (株/m ²)	茎数 (本/m ²)	乾物重 (g/m ²)	茎数 (本/m ²)	草丈 (cm)
処理区							
プラウ区	269	11.5	216	1082	63	1373	12.4
ロータリ区	285	11.4	204	1422	78	1430	13.5
チゼル区	285	10.7	231	1313	72	1610	12.9
スプリング カルチ区	255	10.8	240	1356	76	1180	12.9

越冬前の茎数と幼穂形成期の茎数は雪腐れ病が無ければ大差は無い。チゼル区とプラウ区は越冬後の表層0~10cmの気相率が高いことから、表層の水分が融雪後速やかに排水されたものと推察される。その結果、根域の生育環境が改善され、茎数が増加したと考えられる。

一方、スプリングカルチ区は越冬後の表層の気相率が20%以下になったことから、融雪後の生育環境の悪化によって茎数が減少したと推測できる。

IV 考 察

1. 黒ボク土

簡易耕は慣行法(反転耕起を含む耕うん法)に比べ、水分保全効果が優るため、排水性が良好な土壌では慣行法に比べ、高収量を示すことがある(坂井ら, 1987)。畝中らは黒ボク土が比較的良好な排水性を持つため、土壌水分が低下しやすい環境下では簡易耕による水分保全効果が現れ、トウモロコシ、豆類で増収効果があったことを示した(畝中ら, 1987)。簡易耕の水分保全効果が高い理由の一つに、稲野らはロータリハローなどの2次耕うんの耕深直下の層の固相率を高めることで毛管による表層への水分供給能を高めると考察している(稲野ら, 2006)。本研究でも同様の現象が起きており、深さ10~20cmの層でプラウ区に比べ、簡易耕区の固相率が高くなり、表層への水分供給量が高まったことから越冬前の乾物重と越冬後の茎数が高まった(図1)。コーン指数は耕盤層の基準となる1.5MPa以上であったが、気相率は20%以上を維持しており、生育に問題はなかった。

2. 多湿黒ボク土

湿性火山性土における簡易耕は慣行法(反転耕起を含む耕うん法)に比べ、土壌水分の供給や表層部の養分供

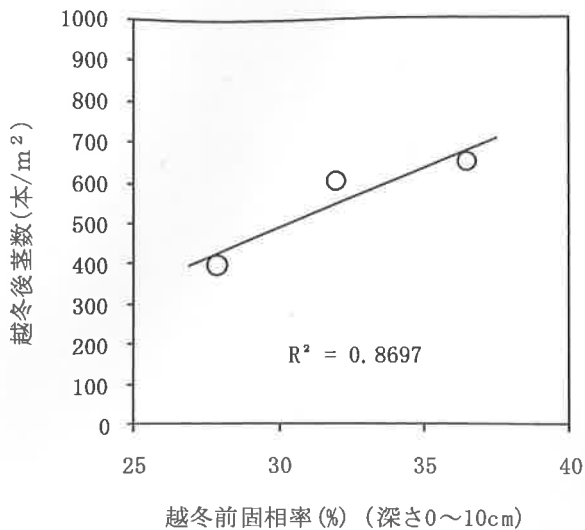


図1 越冬前固相率と越冬後莖数の関係 (黒ボク土)

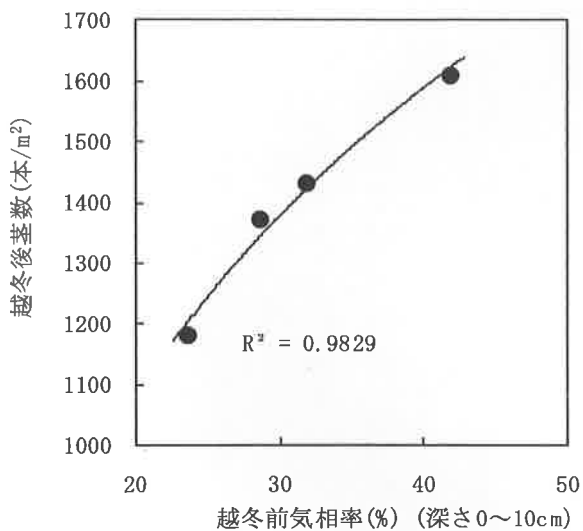


図2 越冬前気相率と越冬後莖数の関係 (多湿黒ボク土)

給の面で有利であるため、発芽勢や初期から中期の生育が優れている (小川ら, 1988)。一方、湿性型の火山灰土において、粗孔隙の少ないことが原因で、根への通気不足が起き、低収になることもある (増島, 1970)。また、小麦は空気量に対する感応度が高く、ほぼ20%以下になると根の伸びが悪くなったことを森らが報告している (森ら, 1967)。本研究では播種後の降雨や融雪水によって高水分土壌条件下では根への通気不足が生じることを危惧し、土壌気相率と越冬前後の生育量との関係を明らかにした。

小麦の生育と気相率の関係については以下の報告がある。幸田は小麦が正常に生育するためには、2.5~7.5cmの層の気相率が18%以上、10~15cmの層では7%以上必要であることを示した (幸田, 1983)。層位の幅は異なるが、越冬後のロータリ区の10~20cmにおいて気相率が2.2%となり、スプリングカルチ区の0~10cmに

おいて16%と幸田の数値を下まわった。越冬前に比べ越冬後の莖数がロータリ区ではほぼ同じ、スプリングカルチ区では減少したことの原因であると推測できる。

秋まき小麦の播種後から融雪期にかけて土壌水分が高めに推移する多湿黒ボク土では、黒ボク土とは異なり、生育環境の指標となるのは気相率であった。越冬前の気相率が高いと、乾物重が高くなり、越冬後の莖数も高い傾向にあった (図2)。ポテトハーベスタによる収穫作業後はトラクタと作業機が通過する畦間は土壌踏圧によって土壌硬度が高まるが、畦上はハーベスタの掘取り刃で培土をハーベスタ内に取り込み、コンベヤ上で篩われるため、収穫後の畦上はロータリハローで碎土されたような膨軟な状態になる。チゼルプラウは土壌硬度の高い畦間を膨軟にし、犁体の幅だけ部分的に反転するため、ハーベスタ通過後の膨軟な部分は表層に残る。土壌物理性と小麦の生育の観点から多湿黒ボク土における秋まき小麦の播種作業にはチゼルプラウによる1次耕うん作業が有効であるといえる。

V 摘 要

秋まき小麦の播種作業体系に簡易耕を適用したときの土壌物理性と生育量の関係について以下の知見が得られた。

- 1) 黒ボク土の簡易耕区は碎土率が大きく、土壌硬度はプラウ区を上回っていたが、いずれも気相率は20%以上であった。越冬前の深さ10~20cmにおける固相率は簡易耕区で47%以上とプラウ区に比べ10ポイント以上高かった。
- 2) 多湿黒ボク土におけるプラウ区は反転された下層の土壌を碎土するため、碎土率が最も低かった。スプリングカルチ区はチゼルプラウ区とほぼ同じ耕深であったが、コーン指数はチゼルプラウが低く、碎土率はスプリングタインカルチベータが高かった。越冬後におけるロータリ区の深さ10~20cmの気相率は2.2%と低く、小麦の根はほぼ窒息状態であった。チゼル区の気相率は全処理区中で高く安定していた。
- 3) 黒ボク土における越冬前後の生育状況は、簡易耕区がプラウ区を上回っていた。越冬後の莖数は越冬前の固相率に比例していた。
- 4) 多湿黒ボク土における出芽数、草丈はプラウ区と簡易耕区の差はほとんど無かったが、越冬前(11月11日)では簡易耕区の莖数、乾物重がプラウ区を上回った。越冬後の莖数はチゼル区が最も大きく、次いでプラウ区とロータリ区、スプリングカルチ区は最も小さかった。越冬前の気相率が高くなると、越冬後の莖数が大きくなる傾向にあった。

References

- Fausey, 1984. Drainage-tillage interaction on Clermont soil. *Trans. ASAE*, 27, 403-406.

- 畠中哲哉, 塩崎尚郎, 1987. 簡易耕の導入に伴う土壌の変化と畑作物の反応. 土壌の物理性, 54, 2-13.
- 北海道農政部, 2005. 北海道農業生産技術体系第3版, 50-51.
- 北海道立中央農業試験場, 1993. 北海道土壌区一覧, 北海道立農業試験場資料, 21, 102-103.
- Inano, I., Onami, M., Suzuki, T., 2006. Study on improving emergence of direct sowing of sugar beets (Part 2), JSAM., 68(6), 83-90.
- 増島 博, 1970. 火山灰土の物理性と生産力. 土壌の物理性, 18, 10-17.
- Mielke, L. N., Wilhelm, W.W., Richards, K. A., Fenster, C.R., 1984. Soil physical characteristics of reduced tillage in wheat-fallow system. Trans.ASAE, 27, 1724-1728.
- 森 哲郎, 小川和夫, 1967. 土壌の物理的要因と作物の生育に関する研究. 東海近畿農業試験場研究報告, 16, 77-104.
- 農業機械学会, 1984. 新版農業機械ハンドブック, 454-458.
- 農林水産省, 2010. 北海道農林水産統計年報 (総合編), 26-27.
- 小川和夫, 竹内 豊, 片山雅弘, 1988. 湿性火山性土における簡易耕の導入が土壌の諸性質と作物の生育に及ぼす影響. 北海道農試研報, 150, 57-90.
- Sakai, N., Sunohara, W., Yonekawa, S., Tsunoda, K., 1987. Assessment of no tillage farming. Japanese journal of farm work research, 22(3), 229-235.
- 寺田浩俊, 1983. 野菜類と普通作物による低湿地帯の田畑輪換栽培に関する研究. 茨城県農業試験場研究報告, 22, 25-63.
- 土谷富士夫, 松田 豊, 1984. 畑地の土壌凍結について. 農業土木学会論文集, 110, 51-57.
- 土谷俊雄, 2004. 新しい小麦作り. 158-160.
- 保井聖一, 丹羽勝久, 大淵清志, 菊地晃二, 2000. 十勝管内における湿性畑土壌の物理的特徴と作物生育. 土壌の物理性, 85. 31-40.