

簡易耕の導入に伴う土壌の変化と 畑作物の反応

畠 中 哲 哉*・塩 崎 尚 郎*

Effect of Minimum Tillage on Upland Soil Conditions and Yields of Grain Crops

Tetsuya HATANAKA, Hisao SHIOZAKI

Division of Upland Farming,
Hokkaido National Agricultural Experiment Station

I. はじめに

わが国最大の畑作地帯である北海道の十勝地方では、農家1戸当たりの耕地面積は平均22haを越えており、大型機械による土地利用型農業が展開されている。この経営規模を支える労働力は、一般的には夫婦が基本であり、農作業のほとんどが機械力によって行われている。その農作業の実態をみると、基幹作物であるテンサイ、パレイショ、トウモロコシ、ダイズ、アズキ、サイトウおよび秋播コムギのうち、秋播コムギを除く全作物は、4月下旬から6月上旬にかけてほぼ列記した順に播種および定植が行われ、引き続いて除草剤の散布も行われる。したがって、ほとんどの農作業が機械力によるとはいえ春先は多忙を極める。また、各作物の播種床造成法は、春先の作業の集中化を回避するため前年の秋季に耕起し、播種前に碎土・整地を行うのが最も一般的である。これらの作業には65~100馬力クラスの大型トラクターが使用され、プラウも大型化し、畜力時代は15cm程度の耕起深であったものが、機械の大型化の進展に伴い30cm以上にも達している現状にある。このように耕起深が深くなるほど燃料消費の増大を招くとともに、不良な下層土が表土に混入し土壌の悪化を招くことになり、より多くの肥料の投入が必要となる。最近の十勝では、短期輪作下における高収量を確保するため多肥栽培が定着しており、その結果、テンサイの根中糖分およびパレイショのテンブン価の低下などの問題が指摘されている¹⁹⁾。さらに、農産物の自由化に伴う国際競争のもとで価格の低迷が続き、畑作農家の収益は頭打ちの状況を呈し、一層の経費節減が求められる¹⁵⁾など厳しい情勢下にある。

このような事態に対してさまざまな角度より対応策が検討されつつある。まず、適確な土壌診断による施肥の合理化、施肥位置を含めた肥料の効率的利用、有機物および収穫残渣の有効利用、緑肥の導入など、肥料の節約に関する研究が進められている¹⁷⁾。また、機械の長期にわたる有効利用と汎用化、省力的な耕起・整地法の確立、さらには碎土整地施肥播種の同時作業機(コンビネーションシーダー)の開発などの試みがなされつつあり、簡易耕の試験もこれらの対策の一環として実施されたものである¹⁾。

簡易耕はゼロティレッジやミニマムティレッジとも呼ばれ、耕うん法をできるだけ簡略化して作物を作付ける方法である。この簡易耕は省力・省資源はもちろんのこと、土壌保全や保水効果による土壌水分の有効利用、さらには過度の耕うんに起因する土壌構造の劣悪化防止などをはかり、作物の生産性の向上を目指そうとするものである。大規模畑作の発達したアメリカではトウモロコシやダイズなどの栽培に適用されており、その面積は前者で1,595千ha、後者で710千ha^{20, 22, 23)}にも及んでいるといわれる。わが国でも、耕うん作業の省略に伴う播種期の促進や適期作業の確保、草地の簡易更新、省エネルギーという面から簡易耕が取り上げられ、各地で試験されている^{5, 8, 9, 12, 24, 25)}。

現在、著者らは、北海道の十勝における簡易耕導入の可能性について、子実作物を対象に試験を継続中である。今回、興味ある結果が得られたので5年間にわたる検討結果を報告する。以下の成果は、農林水産省の大型別枠、農林水産業における自然エネルギーの効率的利用技術に関する総合研究より得られたことを付記する(86-V-

*北海道農業試験場

1-4)。

II. 試験方法

1. 処理区および試験方法

供試土壌は北海道農試畑作部の平坦な褐色火山性土(淡色黒ボク土)で、試験開始時の土壌の理化学性はTable 1に示すとおりである。なお、供試した圃場は1980年の秋季に牧草地を全面耕起し、1981年に秋耕起区と不耕起区を設けてエンバクを均一栽培した跡地である。

処理区は慣行区と簡易耕区で、1区面積は1aで各区とも1反復とした。慣行区は前年の10~11月にプラウで25~30cm耕起し、播種前にロータリーハローで15~18cmの深さに砕土・整地する方法で、十勝地方で一般に行われている耕うん法に近い。簡易耕は秋季に耕起せず、春季に耕うん機で前作の畦間部分のみ砕土する区(深さ

5cm, この区を簡易耕5cmと略す)と、全面をロータリーハローで10~15cm砕土・整地する区(この区を簡易耕10cm区と略す)の2区とした。

施肥量は北海道施肥標準⁷⁾に従い、総合播種機で施肥・播種した。供試作物の10a当りの施肥量は、トウモロコシ: N-P₂O₅-K₂O-MgO=15-18-20-12~13-3~4kg, 豆類(サイトウ, アズキ, ダイズ)=4-13-15-10-3~5kg, 秋播コムギ=12-15-10-4kgで、いずれも化成肥料を用いた。機械による施肥量は耕うん法により異なることを認めたので、1984年から施肥量を同一にした手播き区を併設した。

対象作物は上記のとおりで、以下のように2つの作付順序で栽培した。栽植密度はトウモロコシ: 畦間65cm×株間25cm, 豆類: 65cm×20~25cm, 秋播コムギ: 18cmドリル条播とした。なお、実験的にテンサイ(直播)に対する効果も検討した。

1982年 1983年 1984年 1985年

Table 1~1 Soil chemical properties at the start of field experiment

Tillage	Soil depth cm	pH H ₂ O	Ex.-base me/100g				CEC me/100g	Degree of base saturation %	Truog P ₂ O ₅ mg/100g
			Ca	Mg	K	Na			
Shallow rotary tilled	0~15	6.2	10.9	0.42	0.56	0.19	18.2	66	1.5
	15~30	6.1	9.4	0.53	0.31	0.16	18.3	57	2.4
Conventionally tilled	0~15	5.8	8.0	0.42	0.27	0.16	17.7	50	4.1
	15~30	6.0	8.8	0.42	0.40	0.18	17.5	56	2.1

Table 1~2 Soil physical properties at the start of field experiment

Tillage	Soil depth cm	Soil texture	Bulk density	Hardness mm	Hydraulic conductivity cm/sec	Three phases distribution at pF 1.8(Vol %)		
						Solid phase	Liquid phase	Gaseous Phase
Shallow rotary	0~15	SL	0.93	22	3.5×10 ⁻⁵	36.9	57.8	5.3
	15~30	L	0.85	22	3.5×10 ⁻³	32.0	56.6	11.4
Conventionally tilled	0~15	SL	0.62	6	1.6×10 ⁻²	22.7	41.8	35.5
	15~30	L	0.73	7	7.0×10 ⁻³	27.7	42.7	29.6

- ①サイトウー秋播コムギーダイズーテンサイ (直播)
(大正金時)(ホロシリコムギ)(キタムスメ)(ソロラーベ)
- ②トウモロコシーアズキートウモロコシーサイトウ
(ワセホマレ)(宝小豆)(ハニーバンダム)(姫手亡)

生育中の管理作業は、秋播コムギを除く全作物について機械による中耕を1~2回、人力による除草を2~3回行い、病害虫用の農薬散布は適直行った。

気象および作況からみると、1982年は全般に好天に恵まれ、とくに9月以降の天候が良好なため平年~豊作年、1983年は6月以降の著しい低温および少照による史上最高の冷湿害年、1984年、1985年は6~8月の高温、少雨による干ばつ年である。

2. 調査および分析方法

1982年と1984年に砕土率を、生育期間中の土壤水分張力の推移および跡地土壤の理化学性は毎年調査した。また、砕土・整地後の物理性的変化は1986年に、硝酸態窒素の土層分布は1983年のアズキの裸地でそれぞれ調査した。

作物については、出芽率を1984年以降の全作物について、土層別水分消費からみた根系分布を1982年のトウモロコシと1983年のアズキで調査した。また、乾物生産、養分吸収の推移および肥料の利用率を1984年のトウモロコシと1985年のサイトウで調査した。

土壤および作物体の分析はいずれも常法によった。

III. 試験結果

Table 2 Yearly change of yields (Kg/10a)

Cropping pattern	Tillage	1982	1983	1984	1985		
		Dent corn	Azuki bean	Sweet corn	Kidney bean		
I	Shallow rotary tilled in 5cm depth	1325 (139)	24.5 (181)	1285 (113)	258 (108)		
	Shallow rotary tilled in 10 cm depth	982 (103)	26.9 (199)	1236 (109)	263 (110)		
	Conventionally tilled	955 (100)	13.5 (100)	1135 (100)	239 (100)		
II			Kidney bean	Wheat	Soybean	Sugar beat	Sugar yield
	Shallow rotary tilled in 5cm depth	270 (109)	346 (98)	391 (87)	4090 (101)	614 (101)	
	Shallow rotary tilled in 10 cm depth	240 (97)	363 (103)	422 (94)	4310 (107)	693 (114)	
	Conventionally tilled	247 (100)	353 (100)	449 (100)	4030 (100)	608 (100)	

Note (): yield index

Dent corn (1982) is TDN and Sweet corn (1984) peeling ear yield (water content 70%). Sugar beet (1985) is fresh root and other crops grain yield (Water content 15%).

1. 子実作物の生育および収量

1) 出芽率

1984年のダイズとトウモロコシ、1985年のサイトウについて出芽率を調査した。簡易耕区と慣行区の差が最も大きかったサイトウの結果を Fig. 1 に示した。同図によれば、5月22日に播種したサイトウの出芽率(手播区)は、6月2日に簡易耕区が16~24%、慣行区は0.2%、6月3日に前者は53~66%、後者は10%というように簡易耕区の出芽速度が早かった。1984年のダイズやトウモロコシでも区間差はサイトウに及ばないものの、簡易耕

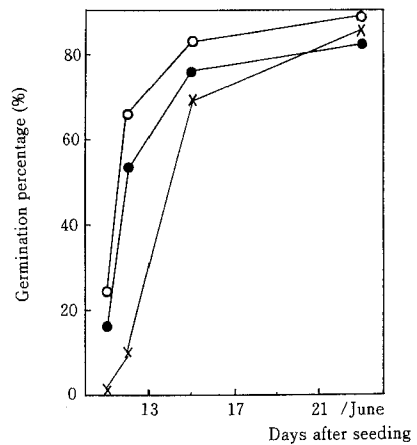


Fig. 1 Changes of germination percentage of Kidney bean seeded on shallow rotary tilled in 5cm depth (●—●), shallow rotary tilled in 10cm depth (○—○) and conventionally tilled (X—X) soil (1985)

区における出芽率が良かった。また、総合播種機による機械播区でも手播区とはほぼ同じような結果が得られた。

2) 子実作物の収量

供試した子実作物の年次別収量の結果を **Table 2** に示した。サイトウ、トウモロコシおよびアズキの子実収量は簡易耕区の方が慣行区よりも多く、3~99%増収した。これに対し、秋播コムギの収量では両区の差は小さく、ダイズでは簡易耕区の方がやや劣る傾向にあり、作物によって反応が異なった。しかし、秋播コムギの茎葉乾物重は簡易耕区の方が約20%多く、草できは良好なことから、施肥量を工夫することにより子実量の増大も望めるものと推察される。また、収量指数の経年変化をみると、年次間差が大きく、とりわけ冷湿害年であった1983年のアズキの区間差が大きくなった。

すなわち、簡易耕によって子実収量が著しく低下するという結果はほとんど認められず、慣行区と比べて同程度かむしろ高収の得られる確率が高いといえる。

3) 子実作物の乾物生産、養分吸収、施肥養分の利用率

1984年、トウモロコシ（スイートコーン）を供試して経日的に乾物生産を調査し、その結果を **Fig. 2** に示した。簡易耕区と慣行区を比べると、生育初期から絹糸抽出期にかけては明らかに前者の乾物生産が優り、絹糸抽出期

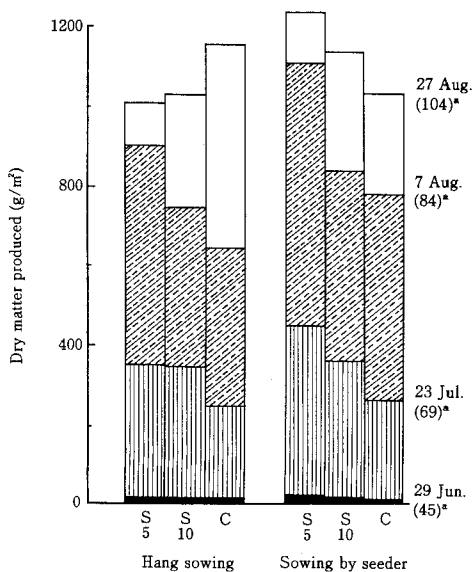


Fig. 2 Changes of dry matter production of corn cultivated on shallow rotary tilled in 5cm depth (S5), shallow rotary tilled in 10cm depth (S10) and conventionally tilled (C) soil (1984)

Note : a) Days after seeding

から生育後半へかけて後者が前者に追いつくという経過を示した。そして、収穫日では両区の差は小さかった。同様な結果は、1984年のダイズや1985年のサイトウでも認められた。

次に、養分吸収量および施肥養分の利用率の結果を **Table 3** に示した。簡易耕区の三要素吸収量は絹糸抽出期の8月7日では慣行区よりも多く、収穫日の8月27日では同区と差がなく、明らかに乾物生産の結果を反映していた。したがって、三要素のトウモロコシによる利用率は、生育前半では簡易耕区が高かったものの、収穫日には差がなくなった。収穫日における生産効率（収量/養分吸収量）を算出したところ、簡易耕区が慣行区よりも高い値となった。

このように、簡易耕区は慣行区よりも初期生育が優り、施肥養分の利用率も高く、収量を高める上で初期生育の重要性が示唆された。

4) 根系分布および形態の特徴

1986年のトウモロコシを用い、モノリス法で7月1日における根分布を察した (**Photo 1, 2**)。この写真が示すように、簡易耕区は根が表層に分布していることが明らかであり、後述するように、表層において水分消費量が多くなる結果と一致する。また、簡易耕区は根毛の発達が良好で、慣行区よりも肥料周辺の根量が多かった。このことは、子実作物の生育初期において簡易耕区の養分吸収量が慣行区よりも多いことと符号し、施肥位置および施肥養分の下層への移動とともに多収に結びつく重要な要因と推察される。

一方、根菜類のテンサイを簡易耕で栽培すると、**Photo 3** のような結果となり、根の形態は全体として“ずんぐり型”で、根重は小さかった。また、簡易耕区では高い位置からの分岐根の発生が観察された。これらの特徴は、すべて簡易耕区における圧密層の存在に起因するものと推察される。

2. 土壌の理化学性の変化

1) 土壌水分張力の推移

1983年の冷湿害年の秋播コムギ、1984年の干ばつ年のダイズ栽培条件下で測定した土壌水分張力の結果を **Table 4** に示した。まず、降水雨が少なく土壌が乾燥する傾向にある5~6月における土壌水分張力の結果をみると、干ばつ年での簡易耕区はpF2.7以上の日数が少なく、かつpF1.8~2.7のいわゆる正常生育有効水分の日数が多いことから、慣行区よりも土壌水分環境は良好とみられ、土壌水分の確保という点では慣行区に優ることが明らかとなった。しかし、1983年の冷湿害年には、気温が低くしかも降水量が多かったので土壌は湿潤状態で



Photo 1 Root spread of corn on shallow rotary tilled in 5cm depth (S5) soil (Marks in roots show the fertilizer placement)

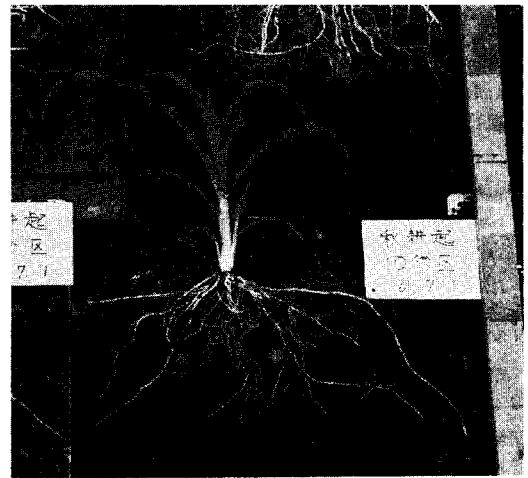


Photo 2 Root spread of corn on conventionally tilled (C) soil (Marks in roots show the fertilizer placement)

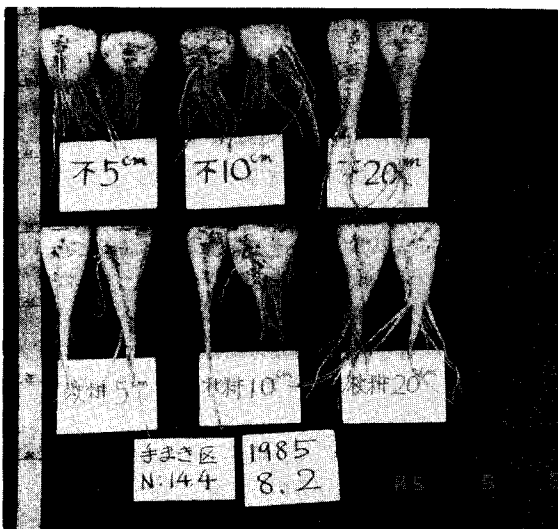


Photo 3 Effect of tillage on the root form of sugar beet

Note : The upper side is no-plowing (S5,S10 from left), the lower side is plowing (the center is conventionally tilled)

Table 3 Uptaked amounts and recovery rate of nitrogen, phosphate and potassium by sweet corn (1984)

	Dry matter produced kg/10a		Uptaked amounts kg/10a						Recovery rate %					
	Aug.7	Aug.27	Aug.7			Aug.27			Aug.7			Aug.27		
			N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Shallow rotary tilled in 5 cm depth	906	1160	18.3	6.4	30.7	17.7	6.6	29.6	104	29.3	235	86.1	26.3	213
Shallow rotary tilled in 10 cm depth	749	1035	14.7	5.4	23.2	16.1	6.5	22.5	79.6	24.1	173	74.8	26.0	155
Conventionally tilled	645	1160	13.4	4.1	20.9	18.0	7.2	27.0	70.5	17.6	153	87.6	29.2	192

Note : Recovery rate (%) = (Uptaked amounts in plot of application - uptaked amounts in plot of no-fertilizer)/total applied amounts

Table 4 Accumulated dqys soil water tetion(pH,wheat(1983) and soy bean(1984) at 15cm of soil depth) at rhizosphere of fall sowing

		Range of period				Division pf pF			
		Apt.(May)~May(Jun)				Jun(Jul.)~Aug.(Sep.)			
Tillage		1.84 以下	1.85~ 2.24	2.25~ 2.74	2.75~ 以上	1.84 以下	1.85~ 2.24	2.25~ 2.74	2.75~ 以上
1983 (Wheat)	Shallow rotary tilled in 5 cm depth	2	12	18	0	18	41	10	0
	Shallow rotary tilled in 10 cm depth	2	17	13	0	18	47	4	0
	Conventionally tilled	2	13	17	0	33	29	7	0
1984 (Soybean)	Shallow rotary tilled in 5 cm depth	0	0	21	9	1	24	20	42
	Shallow rotary tilled in 10 cm depth	0	1	23	6	2	20	25	40
	Conventionally tilled	0	1	16	13	2	25	19	41

Note 1) Range of period is Apr.~May, Jun~Aug.1983(Wheat) and May~Jun, Jul.~Sept.1984(Soybean)
2) Cool and Wet damage occured in 1983 and Drough damage in 1984

推移した。そのため、簡易耕区と慣行区の水分状態に差は認められない結果となった。

次に、7月以降収穫までのそれを見ると、簡易耕区では高pFの日数が多くなり、根圏域においては慣行区よりもむしろ乾きやすい傾向がうかがわれる。このことは、上述したように、簡易耕区の生育量(乾物生産量)が優るため土壌水分の消費量が慣行区よりも多いことに起因するものと考えられる。

2) 土層別水分消費調査

1982年のトウモロコシ、1983年のアズキを用いて土層別水分消費を調査し、その結果を Fig. 3 に示した。同図によれば、簡易耕区の水分消費は30cmまでの表層型であるのに対し、慣行区は30cm以下の水分消費も相対的に多く、全層型を示した。また、トウモロコシに比べてアズキの方が表層消費型となった。

上述したように、7月以降の簡易耕区は慣行区よりも乾燥しやすい傾向のあることを指摘したが、トウモロコシ

シの水分消費量(mm/日)を比べると、簡易耕区が2.7~3.2、慣行区が2.3となり、水分消費は簡易耕区において高まることを認めた。しかし、冷湿害年にあたる1983年のアズキではこのような傾向は明らかでなかったが、これは気象条件や作物の蒸散量の差によるものと考えられる。

3) 碎土率

ロータリーハローによる碎土・整地後の土塊分布を1982、1984の両年に調査し、その結果を Fig. 4 に示した。両年における耕土部分の土壌水分張力は1982年が2.2~2.5、1984年が2.5~2.7と後者が高い条件下で測定した。

1982年の場合、2cm以下の土塊の割合は簡易耕区が78~80%、慣行区が93%と後者が高く、碎土性は慣行区の方が良好であった。次に、1984年の場合、2cm以下の土塊の割合は簡易耕区が94~97%、慣行区が90%という結果で、区間差は1982年ほど大きくなく、両区とも碎土性は良好であった。

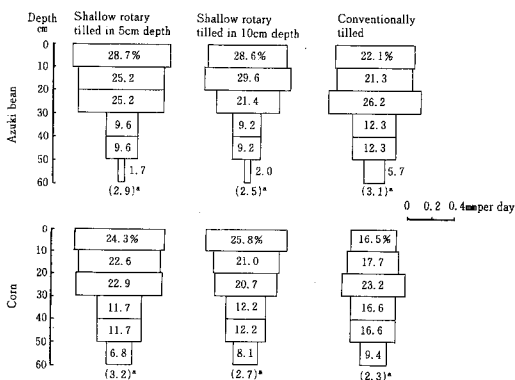


Fig. 3 Effect of tillage on Soil moisture extraction pattern of Azuki bean (1983, 25~29 Aug.) and corn (1982, 1~12 Jul.)

Note : consumptive use (mm per day)

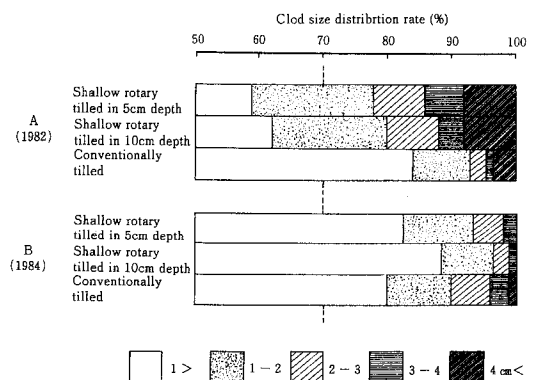


Fig. 4 Clod size distribution after rotary harrowing in 1982 (A, soil water content high) and 1984 (B, soil water content low relatively)

このように、簡易耕区の碎土率は土壌水分の多い条件下で慣行区よりもやや劣る結果となったが、畑土壌の診断基準⁶⁾(2 cm以上の土塊が70%以上)よりも高いので、出芽に対する悪影響は少ないと考えられる。

4) 碎土・整地後の物理性の変化

ロータリーハローによる碎土・整地後の株間の硬度(山中式)、三相分布および飽和透水係数について、1986年5月から8月にかけて6回調査し、その結果をTable 5に示した。

碎土・整地後2日目にあたる5月16日の硬度と比べて、第I層(0~10cm)の硬度のみが経日的に上昇し、10cm以下の層位での変化は第I層ほど大きくなかった。また全体として、簡易耕区の硬度が慣行区よりも明らか

に高くなっている。次に三相分布の結果をみると、各区共通して、第I層では固相率の増加と気相率の減少が認められた。また、簡易耕区では第II層(10~20cm)でも同様な結果が認められるのに加えて、固相率の増加に伴う液相率の増加現象も認められた。飽和透水係数は三相分布の変化に対応した変動を示し、第I層はもちろんのこと、簡易耕区では第II層でも透水の低下が認められたが、その値は 10^{-4} 台にとどまった。

5) 跡地土壌の理化学性

まず、跡地土壌の物理性の結果をTable 6に示した。簡易耕5cm区は慣行区に比べて固相率や仮比重が高くなり、第II層でこの傾向が強く現われている。この部分の硬度は平均22mmで、北海道の土壌診断基準値⁶⁾の18~

Table 5 Changes of soil physics after rotary harrowing (1986)

Tillage	Soil depth cm	Hardness mm			Three phases distribution Vol%						Hydraulic conductivity ×10 cm/sec		
		May 16	Jun.30	Aug.28	May 16			Aug.28			May 16	Jun.30	Aug.28
					Solid phase	Liquid phase	Gaseous phase	Solid phase	Liquid phase	Gaseous phase			
Shallow rotary tilled in 5 cm depth	0~10	3	19	13	22.9	34.3	42.8	24.1	36.7	39.2	13.8	17.1	5.7
	10~20	18	19	21	30.2	46.7	23.1	30.5	49.2	20.3	2.7	1.4	0.6
	20~30	22	19	20	31.0	47.1	21.9	31.6	46.8	21.6	2.1	1.3	1.8
Shallow rotary tilled in 10 cm depth	0~10	3	3	12	22.6	35.6	41.8	27.6	38.1	34.3	10.6	16.2	6.0
	10~20	17	20	21	27.3	44.3	28.4	34.1	47.4	18.5	2.9	0.5	0.5
	20~30	18	21	22	30.2	46.5	23.3	32.2	44.6	23.2	3.1	1.7	2.2
Conventionally tilled	0~10	4	3	10	24.0	36.4	39.6	26.3	37.4	36.3	10.6	17.1	7.0
	10~20	14	16	15	28.1	43.0	28.9	29.2	42.3	28.5	4.1	4.2	3.1
	20~30	12	18	15	28.9	44.0	26.8	28.7	42.4	28.9	2.8	1.1	2.9

Table 6 Soil physical properties after harvested soybean (1984)

Tillage	Soil depth cm	Hardness mm	Bulk density	Three phases distribution Vol%			Hydraulic conductivity cm/sec	Total pore space Vol %	Ponesize distribution rate %			
				Solid phase	Liquid phase	Gaseous phase			1.8>	1.8-3.0	3.0-4.0	4.0<
Shallow rotary tilled in 5 cm depth	0~10	18	0.84	30.4	42.1	27.5	2.1×10^{-3}	69.6	21.8	15.0	10.1	22.7
	10~20	22	0.89	37.1	48.5	14.4	1.2×10^{-4}	62.9	10.9	11.6	14.5	24.9
	20~30	22	0.89	33.0	44.6	22.4	1.5×10^{-3}	67.0	17.2	12.8	9.0	28.0
Shallow rotary tilled in 10 cm depth	0~10	15	0.71	25.9	39.1	35.0	5.4×10^{-3}	74.1	28.8	14.3	10.0	21.0
	10~20	20	0.82	30.3	44.1	25.6	1.7×10^{-3}	69.7	19.0	14.6	12.1	24.0
	20~30	19	0.85	30.7	44.8	24.5	2.0×10^{-3}	69.3	20.0	13.9	11.1	24.3
Conventionally tilled	0~10	10	0.74	26.9	44.4	28.7	4.3×10^{-3}	73.1	23.5	14.9	13.6	21.1
	10~20	15	0.73	26.0	43.9	30.1	4.7×10^{-3}	74.0	26.0	14.1	11.9	22.0
	20~30	13	0.72	26.4	43.9	29.7	5.2×10^{-3}	73.6	25.7	12.6	14.8	20.5

簡易耕の導入に伴う土壌の変化と畑作物の反応

20mmを越えており、簡易耕導入に伴う圧密層の形成が認められた。しかし、この層位の飽和透水係数は、上述したように、 10^{-4} を維持しており、不透水層の形成までは至っていない。次に孔隙分布の結果をみると、簡易耕5cm区の圧密層において、粗孔隙の減少が著しいが、それでも10%以上を保持していた。また、pF1.8~3.0の孔隙およびpF3.0~4.0の孔隙の変化は層位間、区間ともに小さく、pF4.0以上の孔隙の割合は圧密層でやや高い傾向を示した。

続いて化学性の結果を **Table 7** に示した。得られた結果の中で特徴的なことは、交換性カリが簡易耕区で高くなることで、しかも、碎土深が浅いほどその効果が著し

いことである。石灰はカリとは逆に表層ほど低く、簡易耕区の方が低い傾向を示した。苦土は層位による変化が小さく、区間差が認められなかった。トルオーグリン酸および塩基飽和度は層位間で一定の傾向はみられないが、第I層では簡易耕区においてやや低い傾向が認められた。なお、この化学性に関してはさらに継続的にその動態を調査する必要がある。

3. 施肥養分の動き

1) 播種深度と施肥位置

播種深度と施肥位置は出芽や初期生育および気象災害と関連して重要である。すなわち、播種深度が浅過ぎると干ばつや風害を受けやすく、深過ぎると出芽が遅延し

Table 7 Soil chemical properties after harvested fall sowing wheat (1983)

Tillage	Soil depth cm	pH H ₂ O	Truog P ₂ O ₅ mg/100g	Ex.-base me/100g				CEC me/100g	Degree of base saturation %
				Ca	Mg	K	Na		
Shallow rotary tilled in 5cm depth	0~10	6.1	1.5	4.84	0.49	0.62	0.05	13.7	44
	10~20	6.1	0.1	5.39	0.46	0.49	0.05	12.9	50
	20~30	6.0	2.5	5.75	0.46	0.33	0.06	13.7	48
Shallow rotary tilled in 10 cm depth	0~10	5.9	0.5	4.29	0.49	0.54	0.07	14.2	38
	10~20	6.1	2.6	6.67	0.53	0.38	0.06	15.7	49
	20~30	6.1	1.1	6.05	0.53	0.25	0.07	15.6	44
Conventionally tilled	0~10	5.9	4.6	6.28	0.57	0.32	0.05	15.0	48
	10~20	6.0	1.0	7.47	0.57	0.18	0.08	14.8	56
	20~30	6.1	0.4	8.70	0.57	0.29	0.09	15.7	61

Table 8 Depth of corn seed(A) and compound fertilizer placement(B and C) on both side dressing(1984)

Tillage	A	B	C
Shallow rotary tilled in 5cm depth	3~4	3~4	9~10
Shallow rotary tilled in 10 cm depth	3~4	4~5	9~10
Conventionally tilled	4~5	6~7	9~10
Adequate value	3	3	6

Note: Marks correspond to A, B and C in Fig.5

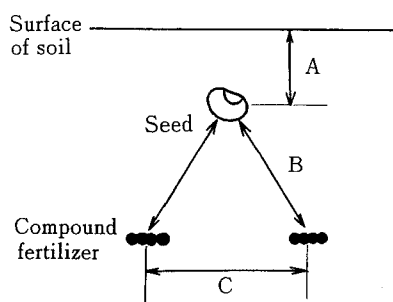


Fig. 5 Relative position of seed and compound fertilizer in the case of sowing by seeder conception map

て欠株を生じやすい。また、施肥位置が種子に近過ぎると肥料やけによる出芽障害の原因となるし、遠過ぎると吸収が遅れて初期生育が劣るからである。

そこで、1984年のトウモロコシについて、機械播種の播種深度と施肥位置を調査し、その結果を Fig. 5, Table 8 に示した。Table 8 によれば、播種の位置は慣行区の方がやや深く、種子と肥料の間も慣行区の方が離れていた。しかし、両側方の肥料同志の距離には区間差はなかった。併記した適正値と比べて、簡易耕 5 cm がこれに最も近かった。

2) 施肥窒素の下層への移動

1983年に、施肥窒素の表層から30cmまでの土層内分布を経時的に調査し、その結果を硝酸態窒素の累積移動度数¹⁶⁾ (C. M. Index) で示したのが Fig. 6 である。これによれば、C. M. Indexの値は、施肥後80日目を除いて、慣行区、簡易耕10cm区、簡易耕5cm区の順に高かった。このことは、硝酸態窒素の下層への移動が簡易耕区において明らかに遅くなることを示したもので、上述のように、施肥養分の利用率の向上に結びついた大きな要因の1つと考えられる。しかし、80日目では各区ともほぼ同じ値となる傾向が認められた。また、施肥後80日目のC. M. Indexの値が66日目より低くなる現象は、下層にあった硝酸態窒素が土壤水分の上昇とともに上層へ移動したことを示すものと推察される。

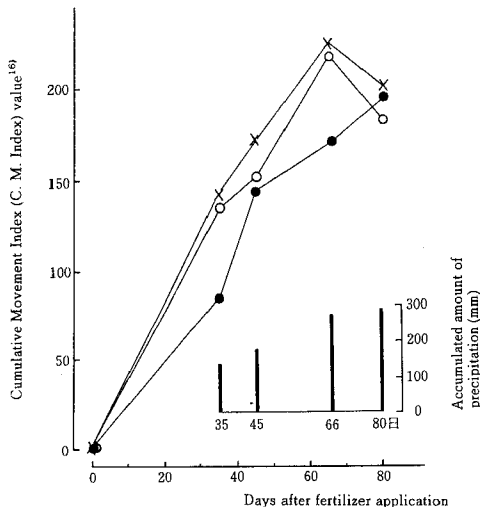


Fig. 6 Cumulative movement of nitrate-nitrogen on shallow rotary tilled in 5cm depth (●—●), shallow rotary tilled in 10cm depth (○—○) and conventionally tilled (X—X) bare land (1983)

IV. 考 察

1982年に開始した圃場試験の結果から、作物間差はあるものの、サイトウ、トウモロコシおよびアズキの収量は、簡易耕区の方が慣行区よりも多収となることを認めた。とくに冷湿害年において、簡易耕区のアズキの収量が慣行区のほぼ2倍となったことは、3~4年に1回の頻度で異常気象に見舞われる十勝の畑作にとって意義深いものとなろう。収量的にみた場合、作業法に若干の差異はあるものの、簡易耕によって増収した報告も多い^{9, 14, 18, 25)}。とくに簡易耕の初期生育は各作物とも旺盛であり、増収に結びつく重要な要因となっている。石井⁹⁾や渡辺²⁵⁾もトウモロコシで同様な結果を報告している。

ここでは、簡易耕の増収効果を中心に今まで得られた結果について、慣行区の土壤環境と比較しつつ、また、作物の生育に好適な土壤環境とされる土壤診断基準値⁶⁾と比較しながら、簡易耕の有利性について考察してみたい。

1. 土壌の理化学的環境

簡易耕区の跡地土壌では第Ⅱ層(10~20cm)に圧密層の形成が認められた。黒ボク土において、簡易耕の継続により深さ10cm前後の層位に圧密層が形成されることは既に鎌田¹⁰⁾、石井⁹⁾などによって報告されている。鎌田¹⁰⁾はこの圧密層が大型機械の車輪の踏圧によって形成されることを明らかにし、踏圧層の生成は、機械作業の種類や土壌および作業時の土壤水分によってその生成部位や圧縮度が異なり、畑地では、表層踏圧、畦間踏圧、中間踏圧、下層踏圧の4つに分けられるとしている。この分類に従えば、本試験における簡易耕区の圧密層の形成は、秋耕起を省略しているので、管理作業および収穫作業を主体とした表層踏圧と畦間踏圧が経年的に累積した結果と考えられる。

このようにして形成された圧密層(踏圧層)の物理性は、固相率33~37%、気相率14~22%、粗孔隙10~16%、山中式硬度20~22mm、飽和透水係数 10^{-4} 台で、北海道の土壤診断基準値(固相率25~30%、粗孔隙15~25%、硬度18~20mm、飽和透水係数 10^{-3} ~ 10^{-4})と比べて、固相率と硬度が高く、粗孔隙がやや低くなっており、これらの要因による作物への悪影響が危惧される。

まず、固相率の増加は硬度や孔隙分布の変化とそれに伴う水分供給に影響をおよぼすと考えられる。鎌田¹¹⁾は、黒ボク土の場合、pF2.0~3.2の水分量は固相率25~30%では大差なく、20%以下あるいは30%以上では明らかに減少するとしている。この考えに従えば、有効水

分量を最大にしうる固相率までは、固相率の増加に伴い有効水分量も比例的に増加するものと理解される。本試験の場合、有効水分 (pF1.8~4.0) が最大となる固相率は、Table 6 の結果から27~30%程度と予想されよう。作物生育の影響が少ないとみられる5~6月の土壌水分環境は、慣行区に比べて簡易耕区の方が良好であることを述べたが (Table 4), この理由として美園¹³⁾の報告と同様に、固相率の増加に伴う有効水分の増加にあることは明らかであろう。外国でも同様な結果が、BAEUMERやRICHEYら²¹⁾によって報告されている。逆に、簡易耕5cm区の第II層の有効水分が若干減少しているのは、固相率が37%と上記の範囲を越えたためと推察される。一方、7月以降の簡易耕区では慣行区よりも乾燥しやすい傾向にあることを述べたが、これは簡易耕区の旺盛な作物生育を反映して土壌水分の消費量が大きかったためと推察される。

次に、固相率と関連する硬度は作物の根張りに影響をおよぼすが、簡易耕区のトウモロコシとアズキの根系分布が表層型となっている (Fig. 3) のは、第II層での有効水分の保持が良好なことからこの要因を除外すると、硬度の増加による機械的抵抗が大きいためと考えられる。また、簡易耕で栽培したテンサイ根は“ずんぐり型”で根重は小さく、高い位置からの分岐根が観察されたが、これは第II層の圧密層のためと推察される。したがって、すでに指摘されているように⁵⁾、簡易耕を根菜類へ導入することは適切でない。

しかし、軽しような火山性土では、粗孔隙が10~15%あれば通気性の面では問題ないこと^{10,15)}、硬度は土壌の水分含量によってかなり変化し、土壌水分が多いほど硬度は低下する²⁾ことからすれば、簡易耕区の圧密層によって子実作物の根の伸長が著しく阻害されることはないと考えられる (Photo 1, 2 参照)。

また、飽和透水係数は土壌への通水・排水といった水の動きと関連するが、本結果は 10^{-4} 台を維持し不透水層の形成までは至っていないので、作物に対して障害的に作用するとは考えられない。

最後に化学的環境であるが、跡地土壌の化学性の結果の中で最も特徴的なことは、簡易耕区における交換性カリの表層集積である。同様な結果をBAEUMER¹⁾も報告しており興味深い。交換性カリの集積する原因については、土壌の乾燥に伴う土壌水分の運動や土壌凍結による固定カリの放出などによって考えられるが、現在のところ推測の域を出ていない。また、このカリの集積が作物の生育収量および品質などにおよぼす影響も未検討であり、今後の検討課題である。

2. 施肥養分の動き

子実作物にとって出芽速度が早く、しかも出芽した種子が肥料やけをおこさず、効率良く肥料を吸収しうる適正な施肥・播種深度は、種子の深さ約3cm、種子とその両側方に施肥された肥料との距離が5~7cm (豆類)、3~5cm (トウモロコシ)、肥料同志間が約6cm (トウモロコシ) とされている³⁾。本結果はTable 8 に示したように、簡易耕区が慣行区よりも適正値に近かった。この理由は、土壌の地耐力の差異によるものと推察される。すなわち、簡易耕区の5~10cmの第I層はロータリーハローの碎土・整地により膨軟であるが、耕土直下の10~15cmの貫入抵抗は簡易耕区、慣行区それぞれ8.5~13kg/cm², 3.7kg/cm²と明らかに前者が高かった。そのため、慣行区では大型機械の車輪の沈下が大きい分だけ施肥・播種深度が深くなったものと考えられる。その他、結果として表示しなかったが、総合播種機による施肥量や栽植密度 (一定株間の確保) などからみた機械の作業精度も簡易耕区が良好で、簡易耕の有意性的一面といえよう。

次に、施肥養分、とくに硝酸態窒素の下層への移動を検討したところ、明らかに簡易耕区が遅かった。古畑⁴⁾によれば、硝酸態窒素の下降移動は土中の重力水による下降移動に規制されることが大で、この水の下降は土中の孔隙率が高く、また、大きな孔隙が多く存在しこれらの孔隙が連続的につながり、封入された空気抵抗が少ないほど早く動くという。この考えに基づき、碎土・整地後の物理性の変化 (Table 5) や跡地土壌の結果 (Table 6) における簡易耕区と慣行区を比較すると、全孔隙量、気相率および粗孔隙率の値は明らかに慣行区が高く、このことが硝酸態窒素の下層への移動を早めた主因と考えられる。

このように、簡易耕区においては、10~20cmの第II層に形成された圧密層が土壌中の有効水分や適正な施肥・播種位置を確保し、粗孔隙の減少によって硝酸態窒素の下降移動を遅らせて肥料の利用率を向上させ、作物の初期生育を旺盛にして増収に結びついたという機作が想定できる。

以上、簡易耕区における子実作物の増収要因について、土壌の理化学的環境を総合的に考察した。先に述べたように、これらの結果は軽しうで物理性の良好な褐色火山性土 (淡色黒ボク土) において得られたものであるが、同様な結果は湿性黒色火山性土や低地土¹⁸⁾および疑似グライ土でも得られており²⁵⁾、かなり普遍的な成果も含まれている。

しかし、十勝地方には、腐植が多く排水不良の湿性黒色火山性土 (厚層多腐植質多湿黒ボク土) や大型機械の

踏圧を受けて硬くなりやすいと考えられる低地土が分布しており、前者では踏圧に伴う通気性の悪化が、後者では固相率や硬度の上昇に伴う水分供給や根張りの悪化が危惧されるので、今後検討したいと考えている。

さらに、技術化を進める上で、作物残渣の処理法、雑草対策、専用機械の開発など解決すべき問題点が存在するので、これらの検討も必要であろう。

V. 摘 要

十勝地方の褐色火山性土に簡易耕5cm区、簡易耕10cm区および慣行区の3処理を設け、土壌の理化学性的変化とそれに伴う子実作物（サイトウ、トウモロコシ、秋播コムギ、アズキ、ダイズ）の生育収量の反応を調べた。試験期間は1982～1986年の5年間である。

1. 簡易耕の継続により、10～20cmの第Ⅱ層の固相率、硬度および仮比重の増加、粗孔隙率の減少が認められたが、粗孔隙率は10%以上を保ち、硬度は20～22mmで、根の伸長を著しく阻害するまでには至らなかった。

2. 降水量の少ない5～6月における根圏での土壌水分供給は、簡易耕区が良好であった。しかし、7月以降の簡易耕区は作物の旺盛な生育量を反映して、慣行区よりも乾きやすい傾向にあった。

3. 簡易耕区では、第Ⅱ層の固相率の増加に伴う土壌の地耐力が大きいため、施肥・播種などの機械による作業精度が高く、また、硝酸態窒素の下降移動も慣行区より遅い傾向を示した。

4. 以上の土壌条件を反映し、簡易耕区においては、各作物とも出芽勢が良好となり初期から中期にかけての生育も慣行より明らかに優り、さらに肥料の利用率も上昇することが認められた。簡易耕区における増収効果は、このような生育反応が総合された結果であると推察された。

VI. 引用文献

- 1) BAEUMER, K.他 (1973) Adv. Agron. 25, 77～123
- 2) 土壌物理研究会 (1979) 土壌の物理性と植物生育, 養賢堂, 187～200
- 3) 絵でみる作物管理のすべて (1983) ニューカントリー社 (札幌) pp235
- 4) 古畑 哲 (1966) 北海道農試彙報, 89, 15～29
- 5) 花井雄次他 (1985) 日作紀, 54, 324～330
- 6) 北海道農業試験会議 (1983) 土壌および作物栄養の診断基準 p7

- 7) 北海道農務部 (1983) 北海道施肥標準, pp53
- 8) 石田義光他 (1977) 北海道草地研究会報, 13, 151～154
- 9) 石井和夫 (1965) 土壌の物理性, 13, 26～44
- 10) 鎌田嘉孝 (1966) 土壌の物理性, 14, 4～9
- 11) 鎌田嘉孝 (1968) 土壌の物理性, 18, 15～16
- 12) 小松武治他 (1972) 中国農業研究, 45, 37～40
- 13) 美園 繁 (1963) 日土肥誌, 34, 53～56
- 14) 西入恵二他 (1973) 日作紀, 42, 164～169
- 15) 西村正一 (1983) 十勝農業談話会誌, 24, 57～59
- 16) 野口純隆 (1977) 鹿児島農試研報, 5, 1～202
- 17) 農林水産技術会議事務局 (1986) 農林水産業における自然エネルギーの効率的利用技術に関する総合研究—昭和60年度研究報告pp325
- 18) 小川和夫他 (1986) 第28回土壌物理研究会シンポジウム 講演要旨集p6
- 19) 大久保隆弘 (1982) てん菜研究会報, 24, 203～213
- 20) PHLLIPS, S., H.他 (1973) No-Tillage farming, Reiman Associates, Milwaukee pp224
- 21) RICHEY, C., B.他 (1977) Adv. Agron., 29, 141～182
- 22) RUSSELL, R., R. (田中典幸訳) (1981) 作物の根系と土壌, 農文協, 329～360
- 23) 塩谷哲夫 (1985) 農作業研究, 54, 1～12
- 24) 春原 亘他 (1985) 農作業研究, 54, 37～50
- 25) 渡辺治郎他 (1986) 日土肥講要集, 32, 216

(1987. 1. 16受理)

Summary

To introduce minimum tillage methods in upland farming areas of Tokachi, located in eastern Hokkaido, experiments were conducted from 1982 to 1986 monitoring the growth of grain crops — e.g., soybean, adzuki bean, kidney bean, wheat and corn — and changes in the physical and chemical properties of the soil.

(1) The continuous application of minimum tillage methods produced clearly recognizable changes in the physical properties of the soil : the solid ratio, hardness and bulk density increased, whereas the air ratio decreased with increasing soil depth from 10 to 20 cm. However, since the macropore ratio of this packed soil remained greater than 10%, and the hardness varied between 20 and 22 mm, root spread appeared unrestricted.

(2) Minimum tillage plots had more favorable soil moisture regimes than the conventional tillage plot. Especially in the early stage of growth (from May to June), the soil water potential at the root zone was clearly lower in the minimum tillage plots than in the conventional tillage one. But at a later stage of growth (approximately from July to September), the soil water potential was inclined higher in the minimum tillage plots than in the conventional plot because of the effects of high top production.

(3) The soil resistance in the minimum tillage plots was more favorable in the former than in the conventional tillage plot because of the formation of a packed soil layer. Therefore, the minimum tillage plots were characterized by higher operating accuracy of agricultural machinery for seeding and fertilizer placement, as well as in the later downward movement of nitrate nitrogen.

(4) The introduction of minimum tillage methods produced the following responses in grain crops: 1) Better germination, 2) Dry matter production in early stage of growth superior to conventional tillage, 3) Higher recovery rate of placed fertilizer, and 4) Higher grain yields, especially notable in cool weather years.

These results suggest that the introduction of the minimum tillage system is possible in the dry type volcanic ash soil (brown andosol) characteristic of some of the upland farm areas in the Tokachi district.