

簡易耕栽培の意義と問題点

小 川 和 夫*
渡 辺 治 郎*

Advantage and disadvantage of minimum tillage systems in Hokkaido

Kazuo OGAWA and Jiro WATANABE

Hokkaido National Agricultural Experiment Station

1. はじめに

作物の作付けに先立つ耕耘処理を最小限にとどめる耕耘法は、近年アメリカやヨーロッパ諸国で急速な普及をみている^{1,2,3)}。この耕耘法は耕耘処理の程度、耕耘の形状、耕耘に用いる機械等の違いによって種々に呼称されており、アメリカ、ヨーロッパではZero-tillage (ゼロ耕耘)、No-tillage (無耕耘)、Rotary strip tillage (ロータリー耕による線状耕耘)、Minimum tillage (最少耕耘)等の呼称がある。Zero-tillage, No-tillage, Rotary strip tillage は施肥、播種部のごく限られた土壤のみを耕耘する方法であり、Minimum tillage はNo-tillage にくらべ耕耘程度は大きい、作土層全体を耕耘する慣行法にくらべると耕耘程度の小さい耕耘体系であるとされている²⁾。これらの耕耘体系はいずれにしても、作土層全体をプラウやロータリー耕で反転耕起したり、混合する慣行法に比べれば耕耘処理の程度は少ない簡易的な耕耘法であり、筆者らはさきに述べたNo-tillage, Minimum tillage等に相当する耕耘法をひっくるめて簡易耕と呼称することにしている。

簡易耕の利点は、耕耘行程を最少限にするほか、耕耘と施肥、播種などを一行程で行うため、土壤踏圧などによる土壤の物理性の悪化が軽減されること、土壤の攪拌程度を少なくし、同時に前作物の作物残渣をマルチングするため強風、降雨による土壤浸食を防ぐとともに、土壤水分の損失を抑制すること、さらに重要な問題として労働時間の短縮および省エネルギー対策として有効であるとされている^{1,2,3)}。

しかしながら、簡易耕は我が国に比較して乾燥地帯で

あるアメリカ、ヨーロッパ諸国で開発され、発展した方法であり、湿润気候に属し、また多種類の土壤型をもつ我が国の畑作に適用する場合には、雑草のコントロール、適用できる土壤型の範囲、土壤型による簡易耕の方法、簡易耕に適用する機械の開発など検討・解決を要する問題が多い。

筆者らは現在、土壤保全、易耕性、省エネルギーなどの面から有利と考えられる簡易耕を北海道の畑地に適用した場合の問題点を検討しており、ここでは筆者らの行っている試験のこれまでに得られた結果を中心に報告し、簡易耕の意義と問題点について述べてみることにした。

2. 作物の発芽・生育・収量・養分吸収

作土層の表面のごく一部を線状に浅く耕耘し、あるいは、表面のごく浅い部分(5 cm程度)を全面にわたって耕耘する簡易耕では作土層の全層を耕耘する普通耕に比べて、作物の発芽が良好となる場合が多く、とくに少降雨条件でこの傾向がみられる。Table 1には発芽時に降水量が極めて少なかった1985年の湿生火山性土のほ場における簡易耕(溝切り耕(Chiseling): 現有の施肥播種機に円板の付いたチゼル型溝切り機を装着して、深さ5 cm、幅5 cm程度の溝切りを行ない、溝切りと、溝部分への施肥、播種、覆土、鎮圧を一行程で処理する。畦間は65 cmで不耕起状態。表面碎土耕(Shallow rotary tilling): 作土層のごく表面のみを深さ5 cm程度にロータリー耕で耕起、碎土したのち、施肥播種機で施肥、播種する。)での発芽の状態を示した⁴⁾。ダイズの発芽は無降雨時の発芽(6月3日~6月6日)と降雨後の発芽

*北海道農業試験場

Table 1 Effect of tillage methods on percentage germination of soybean on Gleyic Andosol (1985).

Tillage	3 June—6 June	6 July—8 July	Total
1. Conventional tillage (Plowing+15 cm rotary tilling)	72%	23%	95%
2. Minimum tillage: 2a Chiseling (65 cm row spacing)	93	4	97
3. Minimum tillage: 2b Shallow rotary tilling (5 cm deep)	91	8	99

No seeds germinated from 7 June to 5 July due to severe drying of the soil.

Table 2 Effect of tillage methods on moisture content in Gleyic Andosol under dry condition (18 June 1985).

Tillage*	Moisture content (%)		
	0—2 cm	2—4 cm	5—10 cm
1	3.9	7.7	22.8
2a Chiseled part	3.9	15.8	27.5
Unchiseled part	6.4	14.4	22.4
2b	4.5	18.0	29.5

*See tillage methods in Table 1.

(7月6日～7月8日)の2期にわかれ、無降雨時の発芽歩合をみると、溝切り耕、表面碎土耕で発芽歩合は普通耕に比べて明らかに高かった。この連続干天時の土壤水分をみると Table 2 のように、溝切り耕、表面碎土耕での2～10 cm 層の水分は明らかに高く、両区での発芽歩合が高いのは土壤の高水分条件によるものであり、

簡易耕での不耕起層では下方からの高い水分伝導性をもつことが考えられる。

簡易耕での作物の生育は、簡易耕の方法、作物の種類、気象条件、土壤中での養分の動態等で変化するものと考えられるが、初期生育は普通耕に比べて良好になるという報告がある。筆者らはとくに高温・乾燥年に、湿性火山性土の圃場での溝切り耕・表面碎土耕で未成熟トウモロコシの生育が良好となることを観察し⁵⁾、疑似グライ土での表面碎土耕におけるエンバク及び青刈トウモロコシ⁶⁾、淡色黒ボク土での表面碎土耕における未成熟トウモロコシ⁷⁾でも初期生育は旺盛になることが認められている。簡易耕で作物の初期生育が良好なのは、発芽が良好であること、Table 3 に示した土壤中の養分分布からうかがえるように、表層でのチッ素、カリウム含量が高いことによるものと考えられる。簡易耕で表層にチッ素とカリウム含量が高いのは土壤表面に前作物の刈株、根等の残渣が集積するためであり、また施肥チッ素、カリウムの下方への可動性が小さいためと考えられる。前半の生育が良好な場合の後半の生育の状態は良

Table 3 Distribution of N, P and K in Gleyic Andosol in relation to tillage methods, 9 July 1984.⁸⁾

Tillage*	Depth (cm)	N(mg/100 g dry soil)			Trough—P ₂ O ₅ (mg/100 g dry soil)	Ex. K (me/100 g dry soil)
		NH ₄ -N	NO ₃ -N	Total		
1	0~5	0.80	0.45	1.25	12.37	0.30
	5~10	0.87	0.27	1.14	9.62	0.24
	10~20	0.44	0.25	0.69	5.95	0.26
2a	0~5	2.72	1.93	4.65	11.90	0.77
	5~10	0.41	1.00	1.41	9.62	0.37
	10~20	0.40	0.48	0.88	6.87	0.32
2b	0~5	1.15	1.57	2.72	11.91	0.68
	5~10	0.43	1.23	1.66	11.90	0.36
	10~20	0.78	0.50	1.28	7.33	0.30

* See tillage methods in Table 1.

Table 4 Yield response of soybean and sweet corn to tillage methods.

Tillage*	1st yr. (1983)	2nd yr. (1984)	3rd yr. (1985)
	Soybean (bean kg/ha)	Sweet corn (ear kg/ha)	Soybean (bean kg/ha)
1	2,630	11,220	3,060
2b	2,510	10,550	3,090
2a	2,410	10,940	3,090
LSD (0.05)	202	750	264

* See tillage methods in Table 1.

好な初期生育の状態が持続する場合と例えば⁶⁾、普通耕との差がなくなる場合^{例えば^{5,9)}}とが報告されている。

Table 4, Table 5は筆者らが3年間連続して行った簡易耕での作物収量を示した^{4,5,10)}。未成熟トウモロコシ、ダイズの簡易耕での収量は湿性火山性土 (Gleyic Andosol), 沖積土 (Brown Lowland Soil) では全体的にみて普通耕と差がないか、やや増収する傾向がみられる。このような傾向は淡色黒ボク土で行われた表面砕土耕での未成熟トウモロコシ、アズキ、サイトウ、秋まきコムギ、ランサイ (直播) でも認められている⁹⁾。しかし、Table 5に示したように疑似グライ土 (Pseudogley) では乾燥年の1984年、1985年に簡易耕での減収の傾向がみられ、これは土壌水分の減少による土壌硬度の高まりが原因しているものと考えられた。

簡易耕での養分吸収についてみると、筆者らの行った未成熟トウモロコシの試験例⁵⁾では、三要素の吸収量は乾物生産量に比例し、Ca, Mg, Zn, Feの含有濃度には普通耕と差がみられなかった。

3. 易耕性の面からみた簡易耕の有利性

耕転時の土壌水分は耕転作業の難易と耕転によってもたらされる砕土性、圧縮などの土壌の物理性に影響する。とくに、重粘性土壌では耕転に適する土壌水分の範囲が狭く、過湿時には地耐力の低下と付着性の増加がみられ、乾燥時には固結化して、ともに耕転作業と耕転精度に悪影響を及ぼす。

筆者らは融雪期直後の多水分状態の疑似グライ土 (重粘性土壌) で、ごく表層 (0~5 cm) のみを砕土耕転する表面砕土耕が播種期のくり上げ、発芽・生育に有効なことを認めている^{6,11)}。Fig. 1は疑似グライ土圃場における融雪期から約1ヶ月間の深さ別の土壌水分の推移をみた結果であり、作土層のごく表層 (0~2 cm) の水分含量 (含水比) は、それより下層に比べて著しく低く経

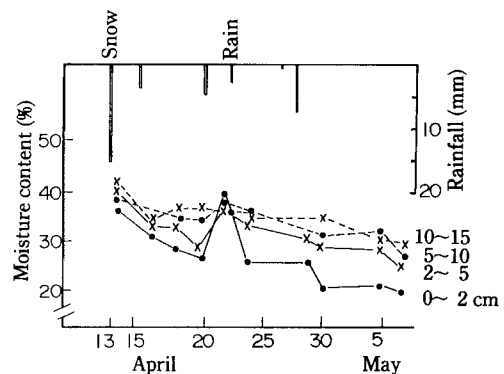


Fig. 1 Changes in soil moisture content in conventionally tilled Pseudogley field during wet season after snow melting period was over on 10 April 1981.

Table 5 Yield response of sweet corn and soybean to tillage methods on Gleyic Andosol, Pseudogley and Brown Lowland soil.

Soil	Tillage*	1st yr. (1983)	2nd yr. (1984)	3rd yr. (1985)
		Sweet corn (ear kg/ha)	Soybean (bean kg/ha)	Sweet corn (ear kg/ha)
Gleyic Andosol	1	11,950 (100)	2,330 (100)	12,800 (100)
	2a	11,680 (98)	2,350 (101)	13,030 (102)
	2b	11,530 (96)	2,350 (101)	13,770 (108)
Pseudogley	1	10,400 (100)	2,000 (100)	13,080 (100)
	2a	10,950 (105)	1,650 (83)	10,100 (77)
	2b	9,900 (95)	1,900 (95)	10,340 (79)
Brown Lowland soil	1	11,700 (100)	1,300 (100)	10,800 (100)
	2a	11,400 (97)	1,450 (112)	10,860 (101)
	2b	12,100 (103)	1,400 (108)	10,350 (96)

* See tillage method in Table 1.

Table 6 Effect of tillage methods on soil clod distribution, growth and yield of two soiling crops on Pseudogley.

Crop	Tillage***	Clod distribution (%)		Number of germination*	Plant height** (cm)	Yield (kg/ha)	
		>3 cm	<1 cm			Fresh matter	Dry matter
Oats	1 (Spring—plowed, rotary tilled)	17	45	50	81	27,400	5,840
	2b	8	61	56	87	30,290	6,470
Corn	1 (Fall—plowed, spring—rotary tilled)	9	60	172	60	40,030	9,080
	1 (Spring—plowed, rotary tilled)	21	46	123	58	31,700	6,980
	2b	3	60	182	66	43,710	9,570

* Number of germination per 50 cm and 50 m length of row for oats and corn, respectively.

** Oats: 13 July 1981, Corn: 24 July 1981.

*** See tillage methods in table 1.

過し、2~5 cm の水分も低く経過したが、5 cm 以下の層での土壌水分は多水分状態で経過している。碎土適水分の多水分側の限界値と考えられている塑性流動をはじめ土壌水分、すなわち、一軸圧縮試験で圧縮による歪みが15%に達しても応力にピークが現れなくなる水分点(含水比)は、この圃場の作土(不攪乱土)では32%であり⁶⁾、Fig. 1の作土層における水分変化に照らしてみると、融雪直後の水分(37~43%)から、この塑性流動をはじめ水分になる迄の日数は0~5 cm層で8日程度であるが、5~10 cm層では20日を要していた。したがって、融雪後、比較的早く水分が減少する0~5 cm層を対象に行う表面碎土耕は、それ以下の層が比較的多水分条件でも、耕耘碎土が可能であり、適期播種を行うのに有効な耕耘技術と考えられる。参考までに、この疑似グライ土で行われた表面碎土耕での碎土性、発芽、生

育、収量を Table 6 に示しておいた。

4. 風食、水食の軽減効果

風や雨による土壌侵食防止は畑作物生産の安定・向上のために極めて重要な問題である。ここでは、簡易耕による風食・水食の軽減効果について述べる。

風食は次の条件によって起り易くなる(Skidmore and Siddoway, 1978²⁾)。すなわち、1) 土壌がルーズで、乾燥していること、2) 土壌が細かい粒子に分離していること、3) 土壌表面に植生がないか、まばらであること、4) ほ場が広いこと、5) 土壌が移動するほど風が強いことである。前述した溝切り耕のように、溝部分以外の畦間が不耕起の状態であれば、土壌表面は緊密で耐食性は高まり、土壌表面に作物残渣の被覆があれば、さらに耐食性は高まるものと考えられる。

Table 7 Effect of Tillage methods on wind erosion on Gleyic Andosol, PM 3 : 30 14 May—AM 9 : 00 15 May 1986.

Tillage**	Soil removal by wind (g dry soil/petri dish)											\bar{x}	s
	No. of petri dish*												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10			
1	1.25	2.80	4.06	7.93	5.02	5.33	2.70	7.52	5.50	5.19	4.73	2.01	
2a	0.84	0.20	1.19	0.20	0.36	0.21	0.61	0.49	0.34	0.12	0.46	0.34	
2b	2.06	1.21	5.91	3.34	4.88	3.17	7.48	14.52	2.18	2.12	4.69	3.97	
2a+residue mulch	0.30	0.08	0.10	0.07	0.08						0.13	0.10	

* Petri dishes were placed 1 m interval in parallel with dominant wind direction.

** See tillage methods in Table 1.

Table 8 Physical properties of surface soil used for wind erosion experiment.

Tillage* ⁴	Bulk density* (g/cm ³)	Moisture content** (%)	MWD of air dry soil* ³ (mm)	Clod distribution* ³ (%)		
				3—2 cm	2—1 cm	<1 cm
1	0.81	10.6	3.50	2.0	10.0	88.0
2a (1) Unchiseled part	0.92	13.3	—	—	—	—
(2) Chiseled part	0.81	16.8	5.31	10.1	10.9	70.0
(3) (1)+residue mulch	0.84	27.0	—	—	—	—
(4) (2)+residue mulch	0.80	18.0	—	—	—	—
2b	0.71	7.7	3.62	3.2	10.4	86.4

Depth examined: * 0—2 cm, ** 0—5 mm, *³: tillage 1 0—10 cm, Tillage 2a, 2b 0—5 cm.

*⁴: See tillage methods in Table 1

MWD: Mean weight diameter

Table 9 Wind tunnel experiment on wind erosion on tilled and untilled soils.

Soil	Tillage	Soil removal by wind (g air dry soil/min/m ²)						Ratio	MWD of air dry soil (mm)	Bulk density at 0—2 cm depth (g/cm ³)
		1	2	3	4	5	\bar{x}			
Brown Andosol (Entic Dystrandept)	Tilled	886.5 (5.8)	662.0 (5.5)	812.5 (5.4)	1042.0 (6.2)	—	850.8	100	1.06	0.74
	Untilled	11.5 (4.6)	34.5 (4.3)	44.0 (4.1)	37.0 (4.0)	21.0 (4.0)	30.7	4	—	0.79
Gleyic Andosol	Tilled	745.0 (7.0)	695.5 (7.4)	638.0 (6.4)	656.0 (7.2)	—	683.6	100	1.63	0.70
	Untilled	300.0 (6.0)	73.0 (6.0)	113.5 (5.6)	—	—	162.2	24	—	0.79
Pseudogley	Tilled	180.5 (5.5)	153.0 (5.7)	418.0 (5.5)	324.5 (6.4)	—	269.0	100	2.45	0.80
	Untilled	25.0 (4.7)	19.0 (4.1)	35.0 (5.1)	44.0 (5.1)	36.0 (5.0)	31.8	12	—	0.92

Figures in parentheses are moisture content (%)

MWD: Mean weight diameter

筆者¹²⁾らは簡易耕を行っている湿性火山性土の圃場で強風日(最大風速12.0—12.9 m/sec)に、深さ2 cm、直径8.5 cmのシャーレに水を深さ5 mm程度入れ、圃場の表面に一定間隔で約17時間放置して、シャーレにたまった飛土量を測定した。その結果はTable 7の通りであり、溝切り耕で飛土量は普通耕、表面碎土耕の1/10であった。この飛土量を測定した時点の土壤表面の容積量、含水比等をTable 8に示したが、溝切り耕で耐食性が大きかったのは、土壤表面の容積量が大きくて緊密度が高いことに加え、土壤の含水比がやや高いこと、溝部分には大きな土塊が分布し、この部分の土壤粒子の平均重量直径が大きいことによるものと考えられる。また、Table 7にみられるように、溝切り耕で作物残渣をマルチすると、飛土量はさらに少なくなる傾向がみられる。Table 9¹²⁾は乾性火山性土、湿性火山性土、疑似グラ

イ土の耕起碎土区と不耕起区とから、自然構造のままに土壤表層を採土して、風乾土水分条件にし、風速8 m/secの風洞内で飛土量を測定した結果であり、ここでも、不耕起状態が耐食性に著しい効果を示すことがわかる。Table 9には実験に用いた試料の容積量、平均重量直径を示しておいた。なお、Table 7の表面碎土耕で飛土量は普通耕と変わらないが、表面碎土耕で前作の残渣をごく表層にすき込む作業体系をとれば、表層土壤に粒径の大きい耐水性団粒を増加させ、耐食性を増すことが考えられる^{註1)}。

以上のように、溝切り耕のような簡易耕では耕起法そのものによる風食軽減の効果がみられ、さらに作物残渣

註1) ムギわら、イネわらを連用した乾性火山性土で、耐水性団粒が増加し、風洞実験で、有機物無施用に対して侵食比が56—85%になることが認められている¹²⁾。

Table 10 Runoff and sediment yield from corn field at Coshocton, Ohio, during a severe rainstorm on 5 July 1969 (HARROLD & EDWARDS, 1972).

Tillage	Slope (%)	Rainfall (cm)	Runoff (cm)	Sediment yield (kg/ha)
Plowed, clean-tilled, sloping rows	6.6	14.0	11.2	50,700
Plowed, clean-tilled, contour rows	5.8	14.0	5.8	7,200
Non-tillage, contour rows	20.7	12.9	6.4	70

を地表にマルチする効果も大きい。前作の刈株部分を地表に残す簡易耕が風食軽減に効果のあることも報告されている^{2,13)}。

簡易耕で土壌表面が前作の残渣でおおわれる場合には雨滴の衝撃力を弱め水食を軽減する。Table 10²⁾にはアメリカのオハイオ州で豪雨時に測定された耕起法の違いによる表面流去水量と流土量を示した。プラウ耕によ

る等高線栽培に比べ、残渣で被覆した不耕起等高線栽培で、傾斜度は大きいにもかかわらず、流土量の著しく少ないことが注目される。また、タイの赤褐色ラテライト性土壌と灰色ポドソル性土壌で、除草剤で処理した自生雑草が被覆するミニマムティレッジにより、水食の軽減されることが認められている¹⁴⁾。

5. 土壌有機物消耗の軽減効果

土壌の有機物は耕起等の土壌の攪拌作業によって分解の促進されることが認められている。Fig. 2では、沖積土について攪拌操作が土壌有機物の分解を促進し、これを行わない対照土壌に比べて13~14%の分解促進が認められている¹⁵⁾。Table 11は簡易耕を行った圃場から自然構造のままですす土壌について、CO₂発生量を測定した結果である¹²⁾。溝切り耕、表面碎土耕の不耕起層に当たる5~20 cm層の乾土100 g当たりのCO₂発生量は反転耕起を行っている普通耕での5~20 cm層で

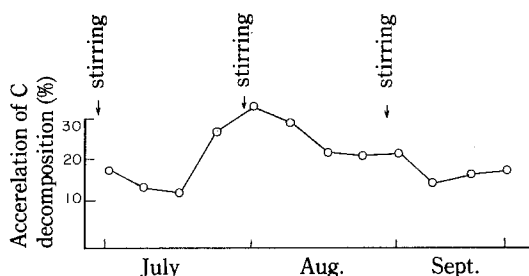


Fig. 2 Effect of soil stirring on accelerating soil C decomposition in Brown Lowland soil.

Table 11 Effect of tillage methods on CO₂ production in Gleyic Andosol (20 day incubation at 30 °C, pH 1.5, 6 replicates).

Tillage*	Depth (cm)	Physical properties of soils incubated, 30 June 1986			CO ₂ production		
		Bulk density (g/cm ³)	Three phase distribution at pH 1.5 (vol %)		(mg/100 g dry soil)	(kg/ha)	
1	0—5	0.76	37.0	37.1	25.9	65.1	247
	5—10	0.81	32.0	38.4	29.6	64.2	260
	10—20	0.81	30.3	38.5	31.2	72.1	584
							1,091
2a	0—5	0.98	17.3	43.8	38.9	71.5	350
	5—10	1.01	13.2	47.0	39.8	47.1	238
	10—20	1.02	13.0	46.4	40.6	40.5	413
							1,001
2b	0—5	0.75	33.2	37.0	29.8	139.8	524
	5—10	1.09	10.3	48.2	41.5	57.8	315
	10—20	1.05	11.6	47.2	41.2	41.8	439
							1,278

* See tillage methods in Table 1

の発生量に比べて少なく、不耕起層では有機物の消費を抑える傾向がみられる。しかし、溝切り耕、表面碎土耕の0~5 cm層の乾土100 g当りのCO₂発生量は普通耕に比べ多く、これは溝切り耕、表面碎土耕で作物の刈株、根等の有機物が表層に集積し、これらの有機物が分解したためと考えられる。土壌を採取した0~20 cm層からの10アール当りのCO₂発生量をみると、Table 11に示したように、耕起程度の著しく少ない溝切り耕では普通耕に比べて9%程度少なく、一方、ごく表層を耕起する表面碎土耕では17%程度多かった。表面碎土耕で10アール当りのCO₂発生量が多いのは表層に集積した有機物の分解が表層の耕起処理によって促進されたためと考えられる。また、Fig. 3は疑似グライ土で簡易耕を6年継続した場合の土壌の炭素量を測定した結果¹⁶⁾であり、溝切り耕、表面碎土耕では作土層の炭素量が多く、簡易耕で土壌有機物を増加させる傾向がみられる。

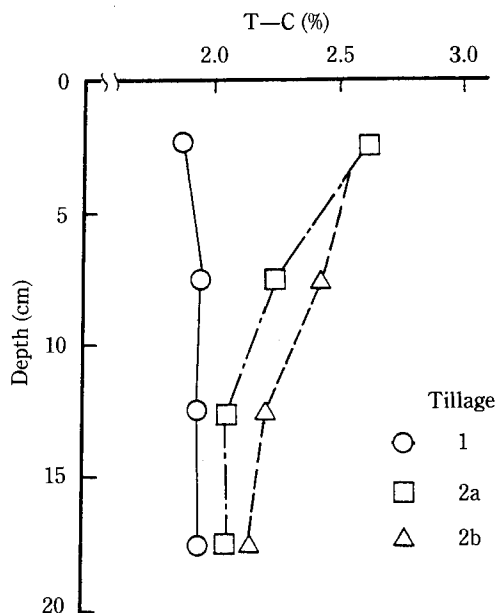


Fig. 3 Effect of tillage methods on distribution of T-C in Pseudogley.

以上の結果から、不耕起処理は有機物の消費を抑えるものと考えられるが、簡易耕での有機物の循環・収支については、簡易耕の種類、残渣処理法との関連で、長期間にわたりさらに検討を進める必要がある。

6. 簡易耕と土壌温度

土壌温度は土壌の熱伝導率、体積熱容量、土壌表面から入射あるいは放出する熱量に支配される。したがっ

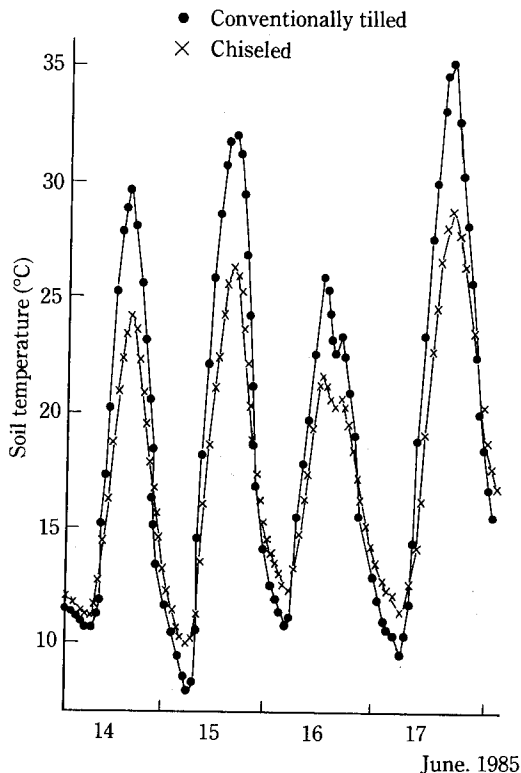


Fig. 4 Diurnal changes in soil temperature at 5 cm depth during soybean germinating stage in conventionally tilled and chiseled Gleyic Andosol.

て、土壌被の程度、土壌中の水と空気量なども土壌温度を決定する条件となる。

Fig. 4¹⁾には普通耕と溝切り耕での、また、Fig. 5⁴⁾には溝切り耕と表面碎土耕での、それぞれ深さ5 cm位置における土壌温度の日変化をダイズの発芽期について示した。Fig. 4では、最高地温は普通耕が溝切り耕に比べて著しく高い。これは、Table 2に示したように、普通耕では土壌の水分含量が少なく、空気含量が多いため、土壌の体積熱容量が小さく、輻射熱が土壌の表層に蓄積されるためであり、溝切り耕で最高地温が低いのは土壌水分含量が高く、土面蒸発量が多いためと考えられる。また、Fig. 5にみられるように、溝切り耕と表面碎土耕との比較では、溝切り耕でやや最高地温が低く、これは溝切り耕での水分伝導性が高く、土面蒸発量が表面碎土耕にくらべやや大きいためと考えられる。なお、Fig. 5にみられるように、夜間には溝切り耕での地温が表面碎土耕にくらべて高かった。これは溝切り耕での容積熱容量が大きく、夜間放射が少ないためと考えられる。

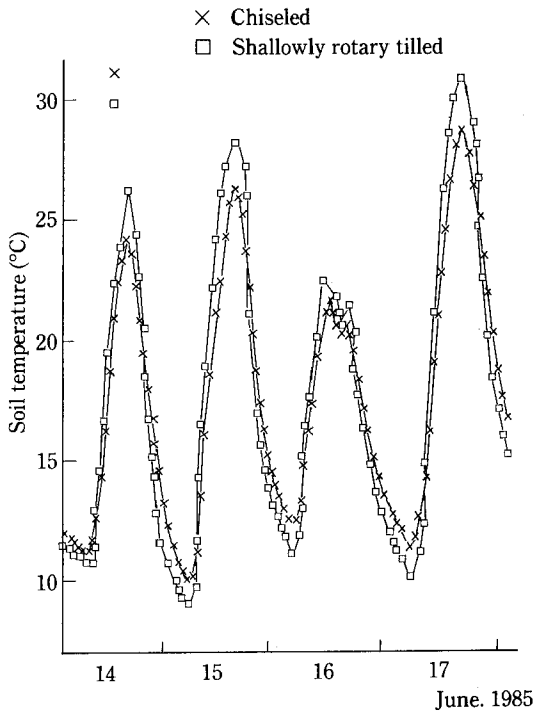


Fig. 5 Diurnal changes in soil temperature at 5 cm depth during soybean germinating stage in chiseled and shallowly rotary tilled Gleyic Andosol.

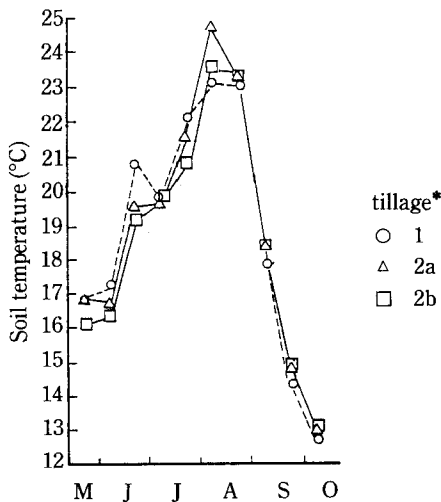


Fig. 6 Effect of tillage methods on soil temperature at 5 cm depth in Gleyic Andosol cropped with soybean (1985).
*See tillage method in Table 1.

Fig. 6¹⁷⁾にはダイズ栽培期間中における溝切り耕の深さ5 cm位置での日平均地温の変化を普通耕と対比して旬別に示した。5月下旬～7月下旬のダイズ生育初期では、地温は表面碎土耕、溝切り耕で普通耕に比べて低く、ダイズが繁茂して畦間を庇蔭しはじめる8月上旬には溝切り耕がもっとも高く、普通耕がもっとも低くなり、それ以降10月上旬までは三者間にほとんど差がなかった。

以上のように、土壌の攪拌程度が少ない簡易耕(溝切り耕, 表面碎土耕)でのダイズの発芽時ないし初期生育時の表層の地温は土壌が比較的膨軟な普通耕に比べて低い傾向がみられるが、簡易耕で地温が低くても作物の初期生育が良好なのは、多くの場合、作物の発芽・生育には地温要因よりも土壌の水分条件と養分条件の良いことが強く働いているものと考えられる。

簡易耕で作物残渣をマルチングする場合には、地温を低下させ、北海道のような寒地では多くの作物の発芽・

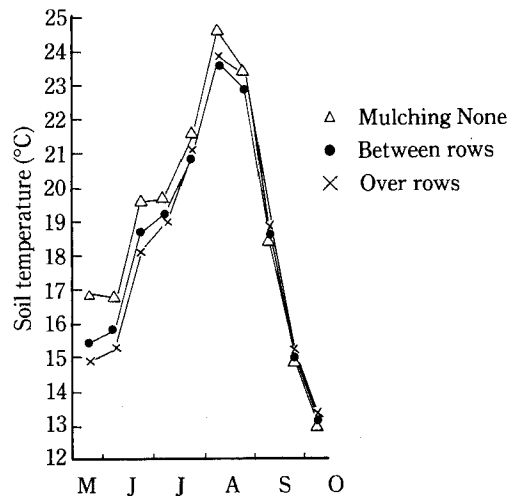


Fig. 7 Effect of mulch on Soil temperature at 5 cm depth in chiseled Gleyic Andosol cropped with soybean (1985).

Table 12 Effect of residue mulch on soybean yield on chiseled Gleyic Andosol.

Mulching	Bean yield (Kg/ha)
None	3,090
Between rows	3,170
Over rows	2,850

Mulching: Soybean residues 3t/ha, fall 1983.
Sweet corn residues 20t/ha, fall 1984.

初期生育を遅らせる可能性がある。このようなマルチングによる低地温の障害を回避するために、筆者らは溝切り耕における前作物の作物残渣処理（トウモロコシ茎葉 2 トン/10 a）として、残渣を畦間の中心部分にマルチを行う「中心マルチ」を行った。中心マルチ区の溝部分（ダイズの播種部分）での深さ 5 cm 位置における旬別の日平均地温を Fig. 7¹⁷⁾ にみると、ダイズの発芽期ないし生育初期に当る 5 月下旬～7 月下旬の日平均地温は中心マルチ区が全面マルチ区より 0.2～0.6°C 高く、中心マルチ処理によって播種部分の地温低下の軽減されることが認められる。Table 12 に示したダイズの収量をみると中心マルチ区の収量が全面マルチ区に比べて高いことが認められる。なお、簡易耕における残渣被覆と地温との関係では、残渣被覆量、残渣の分解程度（残渣の分解後の残量と色）の影響や冬期間の地温変化も論議されている^{1,2,13)}。

7. 孔隙分布及び土壌硬度の変化

粗孔隙量（pF 1.5 の時の空気量）は簡易耕の不耕起

層で減少する。筆者らが湿性火山土で行っている溝切り耕、表面碎土耕での不耕起層に当る 5～20 cm 層の粗孔隙量は Table 13¹⁷⁾ に示すように、不耕起処理 4 年目で 10～13% となり、普通耕の対比層での 30～32% と比べ著しく低下していた。しかし、作物の生育に必要な通気性を保つための臨界粗孔隙量（10%）以下には至っていない。このような簡易耕における不耕起層での粗孔隙量の減少の程度は重粘性土壌で大きく 10% 以下になることが報告されているが¹⁾、筆者らが疑似グライ土の圃場で行った簡易耕試験では簡易耕処理 2 年目の不耕起層の粗孔隙量は Table 14 に示すように 10% 以下にはならなかった⁶⁾。なお、Table 14 で溝切り耕区の畦間に当たる不耕起部分の 0～5 cm 層の粗孔隙量は 25% と多く、反転碎土耕と比べやや減少する程度であった。これはこの不耕起部分に雑草が生え、また、作物残渣が土壌表面に集積するためと考えられる。このような傾向は Table 15 のように湿性火山性土でも認められている⁵⁾。

pF 1.5～pF 4.0 の有効水分域の孔隙量は Table 15 に示した湿性火山性土での測定例によると、溝切り耕、表

Table 13 Relation of tillage methods to non-capillary porosity in Gleyic Andosol.

Tillage*	Depth (cm)	Non-capillary porosity (vol %)			
		3 June 1983 (1st yr.)	17 May 1984 (2nd yr.)	6 June 1985 (3rd yr.)	30 June 1986 (4th yr.)
1	5～10	27.7	30.2	29.0	32.0
	10～20	25.8	32.8	30.0	30.3
2a	5～10	17.3	17.5	10.5	13.2
	10～20	20.5	17.8	13.0	13.0
2b	5～10	25.0	15.3	15.0	10.3
	10～20	21.4	15.2	13.0	11.6

* See tillage methods in Table 1.

Table 14 Effect of tillage methods on physical properties of Pseudogley, 5 June 1981 (2nd yr.).

Tillage	Depth (cm)	Bulk density (g/cm ³)	Three phase distribution at pF 1.5 (vol %)			Pore distribution (vol %)					K ₂₀ (×10 ⁻³ cm/sec)
			Solid	Liquid	Air	pF 1.5-2.0	1.5-3.0	3.0-4.0	1.5-4.0	>4.0	
Spring-plowed, rotary tilled	0-5	1.10	41.3	30.5	28.2	0.1	1.3	1.5	2.8	27.8	47
	5-10	1.09	41.3	36.8	21.9	0.7	3.1	5.1	8.2	28.7	28
	10-15	1.19	44.9	42.1	13.0	1.5	5.0	9.6	14.6	27.6	6.8
Rotary tilled	0-5	0.86	32.5	30.3	37.2	1.0	3.1	2.6	5.7	24.6	54
	5-10	0.97	36.5	37.1	26.4	1.2	5.3	4.3	9.6	27.5	120
	10-15	1.11	41.8	40.2	18.0	1.2	4.9	8.4	13.3	27.0	5.9
Shallowly rotary tilled	0-5	0.86	32.6	30.2	37.2	0.5	3.3	3.1	6.4	23.9	25
	5-10	1.13	42.5	37.8	19.7	1.1	3.7	7.3	11.0	26.8	38
	10-15	1.10	41.7	38.4	19.9	1.3	4.2	8.5	12.7	25.8	8.9
Chiseled (unchiseled part)	0-5	1.04	39.3	35.8	24.9	2.0	4.6	8.8	13.5	22.4	11
	5-10	1.15	43.5	40.5	16.0	1.6	4.6	8.2	12.8	27.8	2.7
	10-15	1.15	43.3	43.0	13.7	1.7	4.7	11.0	15.7	27.4	2.6

Table 15 Effect of tillage methods on physical properties of Gleyic Andosol, 17 May 1984 (2nd yr.).

Tillage*	Depth (cm)	Bulk Density (g/cm ³)	Three phase distribution at pF 1.5 (vol %)			Pore distribution (vol %)				Total porosity
			Air	Liquid	Solid	pF 1.5—3.0	3.0—4.0	1.5—4.0	>4.0	
1	0~2	0.88	22.3	47.7	30.0	16.5	8.4	24.9	23.8	70.0
	2~4	0.79	29.4	42.4	28.2	12.2	8.2	20.4	22.0	71.8
	5~10	0.83	30.2	38.9	30.9	9.4	6.7	16.1	22.8	69.1
	10~20	0.80	32.8	37.8	29.4	9.2	6.6	15.8	22.0	70.6
2a Unchiseld part	0~2	0.96	21.1	43.3	35.6	12.0	7.1	19.1	24.2	64.4
	2~4	0.92	24.2	42.7	33.1	11.6	7.0	18.6	24.1	66.9
	5~10	1.03	17.5	43.7	38.8	7.9	6.4	14.3	29.4	61.2
	10~20	1.05	17.8	43.6	38.6	8.2	7.4	15.6	28.0	61.4
2a Chiseld part	0~2	0.90	24.9	42.1	33.0	14.9	4.3	19.2	22.9	67.0
	2~4	0.77	35.1	41.1	23.8	9.6	10.1	19.7	21.4	76.2
2b	0~2	0.72	31.9	42.5	25.6	15.0	7.7	22.7	19.8	74.4
	2~4	0.78	31.9	40.2	27.9	10.1	8.5	18.6	21.6	72.1
	5~10	1.04	15.3	45.0	39.7	7.6	7.0	14.6	30.4	69.3
	10~20	1.04	15.2	47.2	37.6	8.7	7.9	16.6	30.6	62.4

* See tillage methods in Table 1.

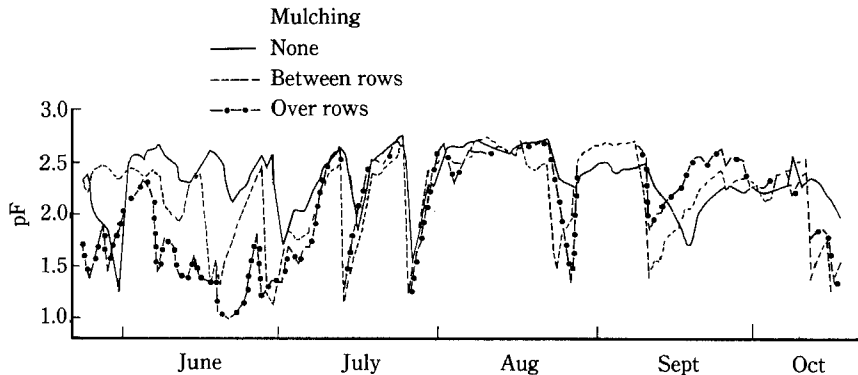


Fig. 8 Effect of mulch on soil moisture at 10 cm depth in chiseled Pseudogley cropped with soybean (1984).

Mulching: Wheat straw 6t/ha, Aug. 1982, Corn residue 25t/ha, Sept. 1983.

面碎土耕の不耕起層(5~20 cm)で、耕起を行った普通耕での対比層にくらべ殆んど差がなく、一方、pF 4.0以上の細孔隙が増加していた。なお、全孔隙量は不耕起層で減少する。重粘性土壌での測定例では Table 14に示すように、pF 1.5~pF 4.0域の孔隙量は簡易耕の不耕起層でやや増加する傾向がみられ、pF 4.0以上の細孔隙量は耕起層との差がないか、やや減少する傾向が見られる。

以上のように、簡易耕のち密な不耕起層で有効水分量が明らかに増加するという傾向はみられない。しかし、簡易耕で土壌表面に作物残渣をマルチングする場合には、水分の土面蒸発を少なくし、土壌中の水分の消費を

遅らせる。Fig. 8⁵⁾から明らかのように、高温、少降雨条件であった6月~8月下旬のダイズ栽培下でのpF値は残渣の中心マルチ区(畦間の中心部分にマルチ)、全面マルチ区(畑地の全面にマルチ)で明らかに低く推移している。簡易耕における残渣のマルチング処理は前述のように風食・水食の軽減にも効果があり、作物残渣の処理法として注目される。

簡易耕における不耕起層の硬度の推移は時々の土壌水分含量によって変化するが、一般には作物の生育が旺盛で蒸発量の多い生育後半期で、干天が連続した場合は土壌水分含量が著しく低下し土壌硬度が高まる。筆者らの測定例⁵⁾では、湿性火山性土のトウモロコシ栽培下の簡

Table 16 Relations of tillage methods to operating time and diesel fuel consumption on Gleyic Andosol soybean field.

Tillage*	Operation	Area	Operating time	Fuel consumption
1	Plowing	931 m ² (70×13.3 m)	17 min 4 sec	1,250 ml
	15 cm rotary tilling	931 m ² (70×13.3 m)	20 min 54 sec	1,940
	Applying fertilizers, sowing	931 m ² (70×13.3 m)	12 min 53 sec	380
			50 min 51 sec (100)	3,570 (100)
2a	Chiseling	931 m ² (70×13.3 m)	11 min 29 sec (23)	300 (8)
	Applying fertilizers, sowing			
2b	5 cm rotary tilling	931 m ² (70×13.3 m)	21 min 34 sec	1,310
	Applying fertilizers, sowing	931 m ² (70×13.3 m)	9 min 21 sec	300
			30 min 55 sec (61)	1,610 (45)

* See tillage methods in Table 1.

易耕で、不耕起層の10~20 cm層の硬度は、7月下旬迄は10 kg/cm²を越えることはなかったが、8月上旬~8月下旬の約20日間の干天連続時には10.6~13.8 kg/cm²を記録した。この場合、トウモロコシの根は7月下旬迄に充分量が伸長し終り、8月上旬以降における硬度の高まりは根量の面からは影響が少ないものと思われる。しかし、疑似グライ土（重粘性土壌）では土壌水分の減少によって、硬度は高まり易く、前述の湿性火山性土の場合よりも作物の生育ステージの早い時期に、簡易耕の不耕起層で高い硬度を示すことを筆者らは観測しており、重粘性土壌では硬度の高まりによる根の伸長阻害の頻度はやや高まるものと考えられる。

8. 簡易耕における労働時間の短縮と省エネルギー

簡易耕では耕耘の程度が小さく、耕耘、施肥、播種の作業を一行で行うなどの作業短縮が行われるので、耕耘、作付に要する時間とエネルギーは普通耕に比べて少なくなる。Table 16には筆者らが測定した簡易耕における耕耘処理、施肥、播種に要した作業時間と燃料消費量を示した¹⁰⁾。溝切り耕、表面砕土耕での機械作業時間、燃料消費量は普通耕に比べて著しく少なく、とくに溝切り耕区での作業時間は普通耕区の23%、消費軽油量は8%であった。

9. 簡易耕の問題点

以上に述べてきたように、簡易耕は土壤保全、易耕性、土壤有機物及び水分の保持、エネルギー等の面から有利と考えられる。しかし、簡易耕システムの導入に当たっては、今なお未解決の問題点も多い。主な問題点を挙げると次のようである。

1) 除草技術の確立

不耕起栽培に近い簡易耕では雑草の発生を助長する。除草剤の利用である程度の防除はできるが、我が国のような湿潤な気候下では雑草の種類、発生量が多く、除草剤のみでの雑草防除は困難である。的確な除草剤の開発が必要であり、また、除草剤と最少限の中耕の組合せ技術の検討も必要と思われる。なお、雑草発生が著しくなった年次での反転耕の導入も考えられる。

2) 簡易耕に使用する機械の開発

筆者らは、大型トラクターで牽引する現有の施肥播種機に円板のついたチゼル型の溝切り機を装着して、未成熟トウモロコシ、ダイズの溝切り耕栽培を行っているが、溝部分の砕土、覆土、鎮圧を行う機能が不十分である場合を認めている。なお、表面砕土耕は我が国で普及しているロータリーの使用で行えるので、もっとも普及し易い簡易耕と思われる。簡易耕に使用される機械については、欧米の機械が紹介され、我が国へ若干の機種についての導入もみられるが、我が国の作付体系を考慮した複数の作物に汎用性のある機械の開発が必要である。

3) 根菜類の栽培

簡易耕はムギ類、トウモロコシ、マメ類等に適用し易いが、根菜類には根の肥大に影響を与える土壤硬度・ち密度の高まりのために適用が困難である。根菜類の栽培時には普通耕に切り替える必要があり、普通耕—簡易耕の作業体系についても検討してみる必要がある。

4) 簡易耕での作物残渣の処理技術

前述したように、溝切り耕のような不耕起に近い簡易耕では、簡便で、土壤保全の面からも有効である残渣処理法としてマルチング法が考えられる。この場合、残渣を畦間の中心部へマルチする方法が地温低下の防止に有効なことをさきに述べたが、畦間の中心部分にマルチする機械の開発が必要である。

5) 耕耘の意義

耕耘程度の少ない簡易耕でも生育に必要な物理性が維持できて、作物の生育は可能である。したがって、これまでの慣行的な耕耘の必須性はうすれてくる。これを機会に耕耘の意義について考えてみてはどうであろうか。

引用文献

- 1) Baeumer, K. and Bakermans, W. A. P. 1973. Zero-tillage, *Advances in Agronomy*, 25 : 77-123
- 2) Unger, P. W. and McCalla, T. M. 1980. Conservation tillage systems, *Advances in Agronomy*, 33 : 1-58
- 3) Amemiya, M. 1977. Conservation tillage in the western corn belt, *J. Soil and Water Conserv.* 32 : 29-36
- 4) 小川和夫, 片山雅弘 1985, 北海道農試農芸化学部昭和60年度試験研究成績書, IV 38
- 5) 小川和夫, 竹内豊, 片山雅弘. 1984, 北海道農試農芸化学部, 昭和59年度試験研究成績書, IV 9-52
- 6) 小川和夫, 渡辺治郎. 1981, 北海道農試農芸化学部昭和56年度試験研究成績書, IV 1 ~ 11
- 7) 塩崎尚郎, 畠中哲哉, 土屋一成. 1984, 畑輪作における火山灰土簡易耕の施肥・管理技術の開発, グリーンエネルギー計画, 昭和59年度報告, p. 352-353
- 8) 小川和夫, 竹内豊, 片山雅弘, 1984, 未発表
- 9) 塩崎尚郎, 畠中哲哉. 1985, 畑輪作における火山灰土簡易耕の施肥・管理技術の開発, グリーンエネルギー計画, 昭和60年度研究報告. p. 250-251
- 10) 小川和夫, 竹内豊, 片山雅弘. 1983, 北海道農試農芸化学部昭和58年度試験研究成績書, IV 8 ~ 45
- 11) 小川和夫, 渡辺治郎, 岩間秀矩. 1982, 重粘性畑土壌における簡易耕を含む耕起法の種類と易耕性, 日土肥講要集, 28, 4
- 12) 小川和夫 1986. 未発表
- 13) Griffith, D. R., Mannerling, J. V. and Box, J. E. 1986. Soil and moisture management with reduced tillage. In Sprague, M. A and Triplett, G. B. (ed.). No-tillage and surface tillage agriculture, John Wiley & Sons, New York.
- 14) 上野義規, Piyasirananda, T., Billams, K, Piyapongse, P. 1986. タイ国における畑作物生産安定のための有機物管理法 (第2報), 作物残渣, 雑草等のマルチによる土壌浸食防止効果, 日土肥講要集, 32, 5
- 15) 速水彦彦 1985. 環境条件別の有機物資材の分解特性, 農耕地における土壌有機物変動の予測と有機物施用基準の策定, 研究成果166, 29-31, 農林水産技術会議事務局
- 16) 渡辺治郎, 西宗昭, 小川和夫, 石田博 1987, 重粘性土壌における簡易耕の導入, 北海道農試研報, 印刷中
- 17) 小川和夫・片山雅弘. 1986, 北海道農試農芸化学部昭和60年度試験研究成績書, IV 3-58

Summary

Minimum tillage systems were evaluated to investigate their suitability for the Gleyic Andosols, Brown Lowland soils and Pseudogley soils in Hokkaido. Minimum tillage systems adopted here included chiseling and shallow rotary tilling. Chiseling plots were chiseled at a 5 cm depth and 5 cm width with 65 cm row spacing. Chiseling, fertilizer application, seed sowing and soil tamping were performed simultaneously. The top layer was tilled only at a depth of 5 cm in the shallow rotary tilling plots.

In the minimum tillage plots the soil moisture content increased at a depth of 2 to 10 cm from the surface and the germination rates of soybeans increased resulting in improved early growth. In addition to the soil moisture conditions, the accumulation of nutrients in the surface layers was conducive to the early growth of soybeans. No significant differences in the yields of soybean or corn were observed in the fields on Gleyic Andosol and Brown Lowland soil. However, in the field on Pseudogley soil, crop yields were lower in the minimum tillage plot when annual rainfall was not abundant and soil hardness was increased.

The main advantages of the minimum tillage systems included the control of wind erosion, the efficient utilization of soil moisture and the promotion of early sowing in spring. It was concluded that minimum tillage be applied to rather ill-drained fields such as the converted paddy fields, because the difficulties in the soil workability of heavy clay soils could be overcome by the tilling of a shallow surface only. The lowering of soil temperature in minimum tillage fields could also be avoided by using the band mulch technique in which the crop residues were gathered in a row in the center of the seeded rows.

Further studies should be carried out to solve problems such as weed control, the improvement of drilling machines and better combination of conventional tillage and minimum tillage.