耕うん方法の相違が土壌の物理性に及ぼす影響

第1報 貫入抵抗変化と三相分布変化の特徴

小林 正*

Effect of Tillage Method on the Change of Physical Properties of Soil

1. Characteristics of the Change of
Penetration Resistance and
Change of Three-Phase Distribution

Tadasi KOBAYASHI**

1 緒 言

耕うん整地用機械は数多く開発されており、これらに関する研究では、効率の高い機械化作業体系の確立^{1,2)}、高性能作業機設計上からの耕うん部の力学的解析^{4,5,6)}、作業能率向上に関する機械構成や作業方法、作業性能に関する反転性能・碎土性能等に関する基礎的研究等が多い^{7,8)}。また、最近耕うん整地作業を省エネルギー対策及び土壤保全等の関係から必要最小限度の作業、または省略する方向へ進めようとする考え方が多くみられるようになった^{9,10,11,12,13)}。

このような考え方を進めるためには、耕うん整地作業による圃場土壌の理化学的性状の変化及び経時変化を知ることは重要と考えられる。

そこで本報では、耕うん土壌の物理的環境の変化を判断する資料として、土壌貫入抵抗と三相分布構造について、耕うん法の相違とどのような関係があるか発土板プラウ、ロータリ、サブソイラ、トレンチャの4種類を供試して実験を行った。各耕うん法による土壌の貫入抵抗、三相分布構造の特徴について報告する。

2 実験方法

1) 供試圃場

東京農業大学厚木農場（神奈川県厚木市船子）内の野菜圃場を供試した。土性は表1に示すとおり埴土の粒径組成であり、乾燥すると固結しやすい土壌である。実験区分で1973～1975年にサトイモ（土垂）、1976年にニンジン（短根種）を栽培した。

2) 実験区分

長辺50m、短辺20m（面積1,000m²）の圃場にサトイモについてはプラウ区、ロータリ区、サブソイラ区を設定し、1区は50×4.5mとした。ニンジンについては、トレンチャ区を増設し、1区は50×4.5mとした。

耕うん方法は次のとおりとした。

(1) プラウ区：発土板プラウにより耕深平均25cmで耕起し、表層10cmをディスクハロで碎土整地した複合耕うん区とした。

(2) ロータリ区：ロータリ1回がけで、耕深平均10cmに耕うんした。

(3) サブソイラ区：二連サブソイラで深さ45cmまでを破碎し、表層10cmをロータリで碎土整地した。

(4) トレンチャ区：トレンチャで耕幅30cm・耕

平成2年9月3日受理

*東京農業大学農学部 東京都世田谷区桜丘1-1-1 〒156

**Faculty of Agriculture, Tokyo University of Agriculture, 1-1 Sakuragaoka 1-Chome Setagaya-ku, Tokyo 156

表1 供試圃場土壌の粒径組成

	粗砂%	細砂%	シルト%	粘土%	土性	色
表 土	17.0	8.0	9.0	66.0	埴土	黒褐色
心 土	5.0	6.0	8.0	81.0	埴土	褐色

表2 使用作業機類

耕うん区分	使用作業機名	規 格
ロータリ区	ローターベータ	E70 作業幅1,000mm L形刃
プラウ区	ボトムプラウ	14"×2 重量250kg
	タンデムディスクハロ	18"×20 重量450kg
トレンチャ区	トレンチャ	TL60 耕幅30cm×耕深60cm
	ローターベータ	E70 作業幅1,000mm
サブソイラ区	サブソイラ 2連ウイング付	スタンダード長750mm
	ローターベータ	E70 作業幅1,000mm

表3 作業区分及び使用機械類

作業区分	使用作業機名	規 格	作業人員
石灰散布	ブロードキャスタ* 1	ビコン PT0式	1 人
化成肥料散布	〃 * 1	〃	1
植付け	トランスプランタ* 1	2 条用	3
培土追肥	リッジカルチ * 1	3 条用	1
中耕除草	カルチベータ	管理機 5PS	1
防除	スワーススプレヤ* 2		3
収穫	ルートデッガ * 1	2 条用	1

* 1：使用トラクタ フォードソンスーパーデキスタ 39.5PS 重量1,600kg
 * 2：使用トラクタ 小松ユニカLT1200 12.0PS 重量 450kg

深30cmとし、40cmの間隔で溝状耕うん後、表層10cmをロータリで全面碎土整地した。なお、使用作業機種は表2のとおりである。

3) 栽培管理作業の概要

土壌の物理性に影響を与える栽培管理作業は次のとおりとした。

(1) サトイモ

サトイモは、5月中旬ブロードキャスタにより石灰及び化成肥料の散布後、耕うん整地し、5月下旬改造プランタで植付けた。畦幅はトラクタの輪距に合わせ、中央60cm、2条寄せ植えとした。管理作業は、6月中旬リッジによる培土作業、7月初旬リターンカルチによる中耕除草、7月中旬ブームスプレヤによる防除作業、10月下旬にサブソイラを改造した堀取機で収穫作業を行った。使用機械類は表3の通りである。

(2) ニンジン

ニンジンは、7月下旬耕うん整地作業後、8月上旬に人力で播種した。畦幅はトラクタの車輪による踏圧の影響を受けないように、輪距の中央3条播きとした。間引き作業は9月上旬に人力で行い、管理作業はすべて人力作業とした。12月下旬サブソイラを改造した堀取機で収穫作業を行った。

4) 測定項目及び測定方法

(1) 土壌貫入抵抗値

土壌貫入抵抗値の測定は、SR-2型土壌抵抗測定器（底面積2cm²の円すい）を用い、耕うん直後から収穫期までの全栽培期間を通し、7日間隔で計測した。測定位置は車輪による踏圧の影響を受けない2条寄せ植え畦間の中央で、深さ50cmまで無作為に10点測定した。抵抗値は測定値の最高、最低値を除き平均値をとった。

図1 貫入抵抗値の期間推移 (サトイモ栽培)

図2 貫入抵抗値の期間推移 (ニンジン栽培)

また、土壌断面硬度分布の測定は、耕うん直後と収穫期の2回、株間を中心として幅150cm、深さ60cmの土壌断面を各区2ヶ所掘削し、その断面について10cm間隔升目の中央部を山中式硬度計により測定した。測定値の等値部分を囲み土壌断面硬度分布として表した。

(2) 土壌の三相分布

測定期は耕うん直後、栽培期間中の中期、収穫期の3時期とした。採土は寄せ植え畦間中央位置各3ヶ所、深さ60cmまで、容積100cc採土缶を用いて採土した。測定は実容積測定器（大起理科工業）を使用した。

3 結果及び考察

1) 貫入抵抗値の推移

各耕うん区土壌の貫入抵抗値の測定結果は、図1（サトイモ）、図2（ニンジン）のとおりであった。耕うんにより膨軟（固相率25～35%）となった土壌の貫入抵抗値は降雨、管理作業等の影響を受けて変動を繰り返しつつ経時的に全体として増加する傾向を示した。

また、未耕うん部土壌（固相率40～45%）の貫入抵抗値は降雨等の影響による変動はあるが経時的増加傾向はみられない。

各耕うん区の測定結果は次のとおりである。

(1) プラウ区

深さ10cmの貫入抵抗値はサトイモ栽培では0.5～15 kgf/cm²で推移し、その変動の幅は大きい。経時変化の特徴は、耕うん直後3.5 kgf/cm²の貫入抵抗値は1ヶ月位の間0.1～3.0 kgf/cm²と小さくなっている。この原因は土壌の含水比変化による影響より、土壌断面硬度分布（図3）でみられる硬度の均一化、管理作業等による固相率の変化による影響が大きく現われたと考えられる。

7月下旬から8月中旬にかけ貫入抵抗値は7.5～15 kgf/cm²と大きな値となった。この原因は乾燥すると固結し易い土性であるため土壌含水比の減少により現われたと考えられる。

ニンジン栽培では2.5～9.0 kgf/cm²で推移し、経時変化はみられない。プラウ区の貫入抵抗値が他耕うん区よりやや大きいのは始めの碎土が大きく固相率がやや大であったためと、播種作業は人

表4 各耕うん区土壌のpF変化範囲(ニンジン栽培)

耕うん区分	深さcm	pF変化範囲	含水比変化範囲%
ブラウ区	10	1.1~1.8	76~51
	30	0.1~1.5	83~63
	50	0.9~1.4	78~68
ロータリ区	10	0.8~1.4	79~68
	30	0.2~1.4	82~68
	50	0.3~1.3	81~66
サブソイラ区	10	1.0~2.1	77~39
	30	1.0~1.6	77~60
	50	0.8~1.5	79~63
トレンチャ区	10	1.1~1.7	76~56
	30	0.8~1.4	79~68
	50	1.2~1.4	74~68

力でなされたため耕うん土壌の構造破壊がなかったためと考えられる。

深さ20cmの貫入抵抗値はサトイモ栽培で2.5~15 kgf/cm²で推移し、深さ10cmよりやや高い値を示した。経時変化は深さ10cmと似ているが変動は土壌の含水比による影響が大きいようである。

ニンジン栽培で深さ25cmの貫入抵抗値は5.0~15 kgf/cm²で推移し、変動幅は大である。この深さは耕深部位に近い測定位置による耕深の違いから貫入抵抗値に大きな変動が生じたり、耕深の違いにより降雨後の土壌の含水比変動があったのではないかと推察された(表4参照)。

深さ30cmの貫入抵抗値はサトイモ栽培で10~15 kgf/cm²で推移し、10cm、20cmより変動の幅は小さい。この深さは未耕うん部で固相率は40~45%と大きく土壌の含水比変動の影響を受けて変動しているが比較的安定した変動である、経時変化はほとんどない。

ニンジン栽培の深さ40cmの貫入抵抗値は10~15 kgf/cm²で推移し、比較的安定した変動を示している。この深さは未耕うん部で固相率40~45%と大きく、降雨等による土壌含水比の変動も少ないためと考えられる(表4参照)。

(2) ロータリ区

深さ10cmの貫入抵抗値はサトイモ栽培で、2.5~15 kgf/cm²で推移し、変動の幅は大きい。経時変化は耕うん直後2.5 kgf/cm²の貫入抵抗値は1ヶ月後には7.0 kgf/cm²と増大している。この現象は土壌の含水比の影響によるものでなく、植付

作業の作業機による固相率の変化が主な原因と考えられる。踏圧、自然沈下等緻密化し易い構造である(図4土壌断面硬度分布参照)。

ニンジン栽培では1.5~8 kgf/cm²で推移した。初期の増大がなかったのは播種作業はじめ管理作業はすべて人力によりなされたため固相への影響が少なかったと考えられる。経時変化はわずかであるが増加傾向である。

深さ20cmの貫入抵抗値はサトイモ栽培で5~15 kgf/cm²で推移し、変動の幅が大きい。この深さは未耕うん部位で固相率は40~45%と大である。また、降雨による土壌含水比の変動はこの深さまで及び、このような変動となったと考えられる。

ニンジン栽培の深さ25cmでは貫入抵抗値は12~15 kgf/cm²で推移し、変動は比較的安定していた。この深さは未耕うん部位で固相率40~45%と大で、土壌含水比も降雨の関係で大きい、変動が少なかったためと考えられる(表4、図8参照)。

深さ30cmの貫入抵抗値はサトイモ栽培で10~15 kgf/cm²で推移し、変動幅は小さく安定していた。この原因は固相率は大きく、含水比も少なめで変動も小さく安定していたものと考えられる。

ニンジン栽培の深さ40cmの貫入抵抗値は12.5~15 kgf/cm²で推移した。変動は小さく安定している。

(3) サブソイラ区

深さ10cmの貫入抵抗値はサトイモ栽培で2.5~14 kgf/cm²で推移し、変動幅は他耕うん区よりやや小さい。固相率、液相率ともに他耕うん区より小さい。そのため土壌含水比の変動は小さくなりこのような変動となったものと考えられる。経時変化は耕うん直後貫入抵抗値5.5 kgf/cm²であったのが始めの1ヶ月で3.5 kgf/cm²と下がったが、全体的に経時変化は増加傾向であった。

ニンジン栽培の深さ10cmの貫入抵抗値は1.5~5.5 kgf/cm²で推移し、変動幅は小さい。経時変化は増加傾向である。変動幅が小さいのは土壌の含水比が小さく、また変動が少なかったためと考えられる(表4参照)。

深さ20cmの貫入抵抗値はサトイモ栽培で1~13 kgf/cm²で推移し、変動幅は大きい。この変動は土壌の含水比変動の影響によるものと考えられる。経時変化は緩やかな増加傾向となっている。

ニンジン栽培の深さ25cmの貫入抵抗値は1~4.5

図3 プラウによる耕うん土壌の断面硬度

kgf/cm²で推移し、変動幅は小さい。降雨が多い年であったが比較的安定した土壌含水比を保っていたためと考えられる(表4参照)。

深さ30cmの貫入抵抗値はサトイモ栽培で8~15 kgf/cm²で推移した。多少の変動はあるが平均して10 kgf/cm²で安定している。この原因は土壌含水比の変動が安定しているためと考えられる。経時変化はこの期間内では変化はないと見做される。

ニンジン栽培の深さ40cmの貫入抵抗値は10.5~13 kgf/cm²で推移し、変動幅は大きい。この深さは施工深さ近くにあるため土壌含水比の変動が大きかったため変動が大となって現われたと考えられる。もし、含水比が大きい値で変動があまりない場合は貫入抵抗値は低い値で安定するものと推察される(表4参照)。

(4) トレンチャ区

深さ10cmの抵抗値はニンジン栽培 1~4.5 kgf/cm²で推移し、変動も小である。図8、三相分布のとおりに固相率は小さく、また土壌断面硬度分布は図6のとおりに均一であるため、土壌含水比の変動も小となって、このような貫入抵抗値となったと考えられる(表4参照)。

深さ25cmの抵抗値は0.5~7 kgf/cm²で推移し、経時変化はわずかに増加傾向である。深さ10cmより変動は多いがこの原因は耕深に近い部位で土壌含水比の変動が大きいためと考えられる(表4参

図4 ロータリーによる耕うん土壌の断面硬度

照)。

深さ40cmの貫入抵抗値は9~15 kgf/cm²で推移し、未耕うん部土壌の貫入抵抗値の範囲内の変動であるが、三相分布でみられるように降雨のため液相率が多いため貫入抵抗値は12 kgf/cm²と低い時期が長い。

2) 土壌断面硬度分布の推移

(1) プラウ区

図3(a)は耕うん直後の土壌断面硬度分布の例である。各年の分布形態は類似していた。表層はディスクハロで碎土され均一であるが、耕うん部分の中・下層(以降:内部という)は抵抗値の大きな部分が混在している。

図3(b)は耕うん後5ヶ月経過した収穫期の土壌断面硬度分布の例である。表層は均一な層状をなし変化が少ないが、内部の硬度の大きい部分は経時変化して均一化されている。この原因は管理作業による作用、風化作用等によるものと考えられる。発土板プラウのような反転系作業機による耕うん土壌は、内部に硬度の大きい部分が混在するため初期の貫入抵抗値の分散は大で平均値も大きい。しかし、内部の硬度の大きい部分は経時変化して軟化するため、硬度は小さくなり分散も小となったと考えられる(表5参照)。

(2) ロータリ区

図4(a)は耕うん直後の土壌断面硬度分布の一例

図5 2連サブソイラーによる破碎土壌の断面硬度

図6 トレンチャーによる耕うん土壌の断面硬度

である。

耕うん部内は均一で未耕うん部と硬度差が大きく判然と区別されている。耕うん5ヶ月後は図4(b)となり内部に硬度の大きい部分が現われたり、未耕うん部境界から緻密化している傾向がみられる。このことは三相分布にも現われている。

緻密化の速度は他耕うん区より早いようである。

(3) サブソイラ区

図5(a)は耕うん直後の土壌断面硬度分布の例である。表層はロータリによる碎土のため均一な層であるが内部は硬度の大きい部分が混在し、サブソイラのスタンダード通過位置は極端に硬度が小さい。このような不均一な硬度分布も耕うん5ヶ月後の収穫期は硬度の大きな部分は均一化してきている。また、耕うん部の下部から緻密化する傾向がみられた(図5(b)参照)。

(4) トレンチャ区

図6(a)は耕うん直後の土壌断面硬度分布の一例である。均一な硬度分布を示している。耕うん5ヶ月後収穫期は図6(b)のとおり、表層はやや緻密化している。中層はあまり緻密化せず、溝の側面が崩れた状態、また土塊状に緻密化した部分がみられるが、溝状の構造は明確に確保されていた。

この原因は溝壁は耕うん土壌の圧密作用を防止する働きをしているためと考えられる。

3) 各耕うん区土壌の貫入抵抗値の分散推移

各耕うん区土壌の耕うん部の貫入抵抗測定値の分散変動係数、標準偏差を求めてみると表5のとおりである。ブラウ区・サブソイラ区では初期の分散は大きく、経時小さくなり、再び大となる傾向を示している。ロータリ区・トレンチャ区の分散は初期小さく、経時増大する傾向を示した。ロータリ区はその増大する速度が特に早い。トレンチャ区はゆっくりと増加する傾向を示していた。11月13日～12月18日にかけて各耕うん区とも貫入抵抗値の変化が大きいのは降雨が少なく土壌含水比が小さく変動したためと考えられる。

耕うん土壌の貫入抵抗測定値の分散は碎土の大きさ・均一性・含水量・密度等に関係すると考えられる。各耕うん区土壌の固相率が40～45%程度まで緻密化し、土壌の含水比が同程度であると、分散は同じような値となるにと考えられる¹⁴⁾。

ブラウ区・サブソイラ区のように一旦減少し、次に増大してある値に近づく場合と、ロータリ区・トレンチャ区のように始め極端に小さく次第に増大し、同じ様な値に近づく形がある。分散・

表5 貫入抵抗値の分散例（ニンジン栽培）

区分	測定 月日	平均 kgf	分 散	標準偏 差 kgf	変動 係数	自由 度	危険率5%t分布による 母平均aの推定 kgf
ブラウ区 土壌	8/12	6.6	6.11	2.47	0.37	10	$4.8 < a < 8.3$
	11/13	8.2	3.75	1.94	0.29	10	$6.8 < a < 9.5$
	12/18	9.1	5.64	2.37	0.26	10	$7.4 < a < 10.7$
サブソイラ区 土壌	8/12	4.9	5.10	2.25	0.46	10	$3.3 < a < 6.5$
	11/13	4.5	4.60	2.14	0.48	10	$3.0 < a < 6.0$
	12/18	8.6	4.37	2.09	0.24	10	$7.1 < a < 10.0$
ロータリ区 土壌	8/12	1.8	2.13	1.46	0.81	10	$0.8 < a < 2.8$
	11/13	7.2	4.06	2.01	0.28	10	$5.8 < a < 8.6$
	12/18	9.3	5.73	2.39	0.26	10	$7.7 < a < 10.9$
トレンチャ区 土壌	8/12	1.2	0.52	0.72	0.63	10	$0.7 < a < 1.6$
	11/13	1.5	0.77	0.87	0.58	10	$0.8 < a < 2.0$
	12/18	5.3	2.54	1.59	0.30	10	$4.1 < a < 6.4$

変化係数・標準偏差の推移は、貫入抵抗値の推移と関係があるように思われる。連続した測定において測定値のバラツキの変化は緻密化の進行程度の定性的判断の一つの資料となるだろう。

4) 三相分布変化の推移

図7はサトイモ栽培における三相分布の一例である。

ブラウ区は固相率30～35%で未耕うん部より5～10%小さくなっている。

ロータリ区は固相率25%で未耕うん部より15～20%小さい。

サブソイラ区は固相率24～40%で未耕うん部より5～20%小さい。

図8はニンジン栽培における三相分布であるブラウ区は固相率28～35%で未耕うん部より5～12%小さくなっている。ロータリ区の固相率25～30%，サブソイラ区の固相率32～40%，トレンチャ区の固相率28～30%であった。耕うん土壌の固相率は5～20%の減少となっている。

耕うん後5ヶ月の経時変化は下層から緻密化しているようにみられる。液相率はサトイモ栽培ではサブソイラ区が全層平均して小さく、ついでブラウ区、ロータリ区となっている。

降雨の多いニンジン栽培における液相率はトレンチャ区が最も小さく、ついでサブソイラ区、ブラウ区、ロータリ区の順となっている。

固相率の違いは乾燥密度の違いとなって貫入抵抗値に影響を与える。また、液相率の違いは含水

比に関係し貫入抵抗値に影響を与える。三相分布の違う土壌構造では当然貫入抵抗も違ったものとなるだろう。

5 摘 要

作業性能が異なる発土板ブラウ・ロータリ・サブソイラ・トレンチャにより耕うん整地した土壌の物理性のその経時変化について調査した。

土壌の物理性に関する調査項目は作物の生育上、物理的ストレスと関係が深いと考えられる土壌の貫入抵抗値・三相分布とした。

1) 貫入抵抗値変化の特徴

経時変化の特徴は次の3とおりであった。

(1) 耕うん直後の貫入抵抗値は比較的大きく、初期1ヶ月間は抵抗値が下がり、その後増大するタイプである。

(2) 耕うん直後の貫入抵抗値は小さく、初期から増大し増大速度が早いタイプである。

(3) 耕うん直後の貫入抵抗値は小さく、初期から緩やかに増大するタイプである。

2) 土壌の三相分布変化の特徴

耕うん土壌の固相率は未耕うん土壌の固相率より5～20%減少する。経時変化はロータリ区が最も早く、次いでブラウ区・サブソイラ区・トレンチャ区の順であった。

図7 耕うん土壌の三相分布推移 (サトイモ栽培)

図8 耕うん土壌の三相分布推移 (ニンジン栽培)

参考文献

- 1) 河野岩太郎 (1944), トラクタによる起工の最能率の作業方式とプラウの調整方法及び作業抵抗に関する考察, 農業機械学会誌, 7-(3): 77-80
- 2) 居垣千尋, 松井範義 (1966), 四輪トラクタの耕起能率に関する研究 (12報) ロータリーの能率について, 農業機械学会誌, 28-(3): 149-151
- 3) 金谷豊, 倉田勇 (1988), 重粘土壌の耕うん方法に関する研究 (第1報) 農業機械学会誌, 50-(3): 45-51
- 4) 土屋功位, 小松幸雄 (1952), 動力耕うん機の形式別負荷特性 第1報, 農業機械学会誌, 13-(3, 4): 42-47
- 5) 木谷収 (1965), 各種耕うん装置比較のための基礎的研究 (第9報) 振動式耕うん方式の研究, 農業機械学会誌, 27-(3): 162-167
- 6) 坂井純, 陳鵬, 山一郎 (1990), ロータリ耕うん軸の最適設計理論及びエキスパートCADシステムの研究 (第1報), 農業機械学会誌, 52-(3): 19-26
- 7) 常松栄, 吉川富穂, 岡村俊民 (1950), 使用上より見た自動耕うん機の実情に就いて (第1報) 特に碎土性能に関して, 農業機械学会誌, 11-(3): 77-82
- 8) 木谷収 (1965), 各種耕うん装置比較のた
- めの基礎的研究 (第8報), 土の各種破碎形式に関する実験, 農業機械学会誌, 27-(2): 93-97
- 9) 木谷収 (1975), 農業生産および流通, 加工におけるエネルギー消費, 農業機械学会, 農業におけるエネルギー利用シンポジウム資料, A 3-6
- 10) 春原亘, 坂井直樹, 高塚清一, 衛藤邦男, 角田公正 (1985), 不耕起栽培の評価第1報作業体系と省力効果, 農作業研究, 54: 37-50
- 11) 坂井直樹, 春原亘, 高塚清一, 衛藤邦男, 角田公正 (1987), 不耕起栽培の評価第2報圃場への直接投入エネルギー, 農作業研究, 22-(2): 113-119
- 12) 坂井直樹, 春原亘, 米川智司, 角田公正 (1987), 不耕起栽培の評価第3報作物収量と投入エネルギー, 農作業研究, 22-(3): 229-235
- 13) 坂井直樹, 春原亘, 米川智司, 角田公正 (1988), 不耕起栽培の評価第4報土壌の変化と作物根系, 農作業研究, 23-(1): 25-32
- 14) 森泉昭治 (1980), 畑地における土壌水分と円錐貫入抵抗の関係, 関東ローマ畑での調査事例, 茨城大学農学部学術報告, 28: 99-105

Summary

A survey was made on the change of the physical properties of soils tilled by moldboard plow, rotary tiller, trencher and subsoiler with different performances.

The surveyed items of the physical properties were penetration resistance, three phase distribution which are closely related to plant growth and physical stress of crops.

1) Characteristics of the change of penetration resistance. There are three types of change patterns as follows;

(1) The penetration resistance just after tillage

was comparatively large and then decreased in the following month with some increase thereafter.

(2) The penetration resistance just after tillage was small and then continuously increased with a high rate.

(3) The penetration resistance just after tillage was small and then gradually increased thereafter.

2) Characteristics of the change of three phase distribution The solid phase ratio decreased by 5 to 20% by tillage. Largest densification with rapeseed was observed for the soils tilled by rotary and followed by moldboard plow, subsoiler and trencher in this order.