

Ⅲ 土づくり技術対策～各論～

1. 水田

1) 土壌改良目標

(1) 目標

本県の水田土壌の改良目標を示すと表Ⅱ-2-1のとおりである。

表Ⅲ-1-1 水田土壌の基本的な改良目標

土 壌 の 性 質		土 壌 の 性 質		備 考
		灰色低地土、グライ土、黄色土 褐色低地土	多湿黒ボク土、黒ボク 土	
作 土 の 厚 さ		1 5 c m以上（有効土層5 0 c m以上）		
すき床層のち密度		山中式硬度計で1 4～2 4 m m		
主 要 根 群 域 の 最 大 ち 密 度		山中式硬度計で2 4 m m以下		
湛 水 透 水 性		日減水深で2 0～3 0 m m		
p H		5 . 5～6 . 5		
陽イオン交換容量 （C E C）		乾土100g当たり2 0 meq以上		
塩 基 状 態	塩 基 飽 和 度	カルシウム（石灰）、マグネシウム（苦土）及び カリウム（カリ）イオンが陽イオン交換容 量の70～90%を飽和すること	同左イオンが陽イオン 交換容量の60～90%を 飽和すること	K ₂ Oは1 5 mg以上
	塩 基 組 成 （当量比%）	カルシウム、マグネシウム及びカリウム含有量の当量比が73：22：5であること		
可給態リン酸含有量		乾土100 g 当たりP ₂ O ₅ として1 0～2 0 m g		トルオーグ法
可給態ケイ酸含有量		乾土100 g 当たりSiO ₂ として1 5～3 0 m g		p H 4 酢酸緩衝液抽出法
可給態窒素含有量		乾土100 g 当たりNとして2～4 m g		原土を湛水30℃4週間 培養の無機化窒素量
腐 植 含 有 量		乾土100 g 当たり2～1 0 g	5～1 0 g	
遊離酸化鉄含有量		乾土100 g 当たり0.8～2.0 g		

なお、C E C を異にする土壌での塩基飽和度70～90%の飽和に要する塩基成分量の早見表を示すと表Ⅲ-1-2のとおりとなる。

表Ⅲ-1-2 土壌のCECと塩基成分の好適範囲

CEC me/100g	CaO mg/100g	MgO mg/100g	K ₂ O mg/100g	CEC me/100g	CaO mg/100g	MgO mg/100g	K ₂ O mg/100g
5	72～92	15～20	15	16	229～294	49～63	26～34
6	86～110	18～24	15	17	243～313	52～67	28～36
7	100～129	22～28	15	18	258～331	55～71	30～38
8	114～147	25～32	15～17	19	272～350	58～75	31～40
9	129～166	28～36	15～19	20	286～368	62～79	33～42
10	143～184	31～40	16～21	21	300～386	65～83	34～44
11	157～202	34～44	18～23	22	315～405	68～87	36～46
12	172～221	37～48	20～25	23	329～423	71～91	38～49
13	186～239	40～51	21～27	24	343～442	74～95	39～51
14	200～258	43～55	23～30	25	358～460	77～99	41～53
15	215～276	46～59	25～32				

(2) 土壌型と改良方向

土壌の物理性、化学性、生物的諸性質の改善は農作物の栽培にとって必要不可欠であるとともに、環境に調和した安定的な水稻生産には土づくりが重要である。

冷夏に経過した平成5年度において、土づくり肥料を施用している水田で「いもち病」の発生が抑制されたり、河川沿いの保肥力の小さい砂質の水田で「いもち病」が大発生した事例があった。また、土づくり肥料の施用は、玄米蛋白の低下による食味向上や乳白粒の発生軽減など品質向上に対する効果も認められており、近年の高温による品質低下への対策としても有効である。

表Ⅲ-1-3 標準土壌区と水稻の生育特性・土づくりの方向

要因別		標準土壌区	水稻の生育特性・土づくりの方向
還元層あり	全層、もしくは作土直下より還元層	I型	土壌の還元性が強く、地温の上昇が概して遅いために、土壌養分が豊富であっても水稻はこれを十分吸収出来ず、特に初期の生育が抑制されやすい。生育の後期になって地力が出てきて、窒素過剰になり、いもち病の発生等を招きやすい。排水対策とあわせてケイカルや腐熟した有機物等の施用が重要である。
	30cm以下から約70cmまでに還元層がある	II型	上記のI型よりも排水性が良く、水稻の生育は安定している。しかし、排水性の向上とともに、土壌有機物の分解や土壌養分の溶脱が進むので、その補給が必要である。土性が砂質になるほど、その必要性は大きい。稲わらの腐熟促進も重要である。
還元層なし	砂礫層なし	III型	土壌有機物の分解が早く、生育初期の地力発現が多いために、過繁茂な生育となり易い。そして特に、中、粗粒質水田は、生育の後半に地力の発現が減退し栄養凋落を起し易い。概して、土壌無機養分の溶脱も進んでいるので、積極的な有機物の施用と養分補給が必要である。
	砂礫層あり	IV型	有効土層が浅く、透水性が過多で養分の溶脱が多く、地力発現が生育の前半に偏り、秋落的な生育になり易い。砂質水田では、作土直下に盤層が形成され易く、根域が制限されることも多い。客土などによる土層改良や積極的な有機物の施用、養分補給が重要である。

2) 本県の水田土壌養分の現状

(1) 滋賀県農耕地土壌管理システムによる土壌マップの作成

「近江E C Oライス戦略」における土づくりの推進方策として、1998年～2000年の3カ年間で県下3,691地点の土壌分析が行われ、滋賀県農耕地土壌管理システムを活用した土壌マップが作成された。ここでは、作成された土壌マップ（全県マップ、地域別マップ：1kmメッシュ）からみた本県水田土壌養分の現状について述べるが、各地域においてはより詳細なデータを基に地域毎の土づくり指標の作成を行うなど、適正な土づくりの実践推進に活用されたい。

また、今後土壌マップを有効に活用するためには、随時データの更新・追加を行うことで、地域における土壌養分の実情を把握していくことが重要である。

(2) 土壌養分別にみた水田土壌の現状

ア. 可給態リン酸

県下全域で改良目標値内（乾土100g当たり10～20mg）あるいはそれ以上の地点が多い。

湖南地域、東近江地域と湖東地域の湖辺部を除く地域および大津・滋賀地域、湖西地域の全域では改良目標値を超える地点が多い。資源の有効活用、環境保全的な観点からも、これらの地域においてはリン酸資材の適正な施用を推進する必要がある。

一方、甲賀地域および湖北地域の湖辺部では改良目標値に満たない地点が多く、リン酸資材の積極的な施用が必要と考えられる。

イ. 可給態ケイ酸

可給態ケイ酸含量には、地域によるバラツキがみられる。

大津・滋賀地域、湖南地域、甲賀地域および湖東地域（湖辺部の一部を除く）では、改良目標値（乾土100g当たり15～30mg）をクリアする地点が多く、改良目標値を超える地点においては、リン酸と同様に適正量のケイ酸資材の施用を推進する必要がある。

一方、湖北地域では全域で改良目標値に満たない地点が多く、東近江地域、湖東地域の湖辺部および湖西地域でも、改良目標値に満たない地点が散見される。このような地域では、水稻の安定生産・品質向上のためにも、ケイ酸資材の積極的な施用が必要である。

ウ. 遊離酸化鉄

可給態ケイ酸と同様、地域によるバラツキが大きい。湖南地域の湖辺部、東近江地域、湖東地域および湖北地域においては、改良目標値（0.8～2.0%）以上の地点が多い。

一方、大津・滋賀地域、甲賀地域および湖西地域では、改良目標値に満たない地点が多く、含鉄資材の積極的な施用が必要と考えられる。

エ. 可給態窒素（リン酸緩衝液抽出窒素）

可給態窒素含量が、乾土100g当たり2mgに満たないような極端に低い地点は少なく、ほとんどの地点で乾土100g当たり2～6mgの範囲内にある。また、乾土100g当たり6mgを超える地点も少ない。

また、湖辺部のグライ土が分布する地域で高い傾向があり、土壌タイプとの関連性の高さがうかがわれる。

(3) 地域別にみた水田土壌の現状

ア. 大津・滋賀地域

可給態リン酸は改良目標値を超える地点がほとんどであり、リン酸資材の適正施用の必要性が高い。また、可給態ケイ酸は地点によるバラツキがあるため、土壌診断に基づいたケイ酸資材の施用が必要である。遊離酸化鉄については、改良目標値に満たない地点がほとんどで、積極的な含鉄資材の施用が必要である。

イ. 湖南地域

湖辺部を除く地域では、可給態リン酸が改良目標値を超える地点が多く、リン酸資材の適正施用が必要である。遊離酸化鉄は、湖辺部を中心に改良目標値をクリアする地点が多いものの、その他の一部地域では改良目標値に満たない地点がみられる。また、可給態ケイ酸は地点によるバラツキがあるため、土壌診断に基づいたケイ酸資材の施用が必要である。

ウ. 甲賀地域

重粘土地帯を中心に、可給態リン酸と遊離酸化鉄が改良目標値に満たない地点が多いため、リン酸・含鉄資材の積極的な施用が必要である。可給態ケイ酸については、改良目標値を上回る地点が多いため、土壌診断に基づいた適正な施用が必要と考えられる。

エ. 東近江地域

湖辺部を除く地域では、可給態リン酸が改良目標値を超える地点が多く、リン酸資材の適正施用の必要性が高い。また、可給態ケイ酸は地点によるバラツキがあるため、土壌診断に基づいたケイ酸資材の施用が必要である。遊離酸化鉄は湖辺部で改良目標値を超える地域が多いが、その他の地域では、一部で改良目標値に満たない地域も散見される。

オ. 湖東地域

湖辺部の一部地域を除いて、可給態リン酸が改良目標値を超える地域が多く、リン酸資材の適正施用の必要性が高い。また、可給態ケイ酸は湖辺部で低い傾向にあり、ケイ酸資材の積極的な施用が必要である。遊離酸化鉄については、一部地域で改良目標値に満たない地点が散見される。

カ. 湖北地域

可給態リン酸、可給態ケイ酸ともに、湖辺部を中心に改良目標値に満たない地点が多く、リン酸・ケイ酸資材の積極的な施用が必要である。遊離酸化鉄については、湖辺部で改良目標値を超える地点が多い。

キ. 湖西地域

可給態リン酸は改良目標値を超える地点がほとんどであり、リン酸資材の適正施用の必要性が高い。また、可給態ケイ酸は地点によるバラツキがあるため、土壌診断に基づいたケイ酸資材の施用が必要である。遊離酸化鉄については、改良目標値に満たない地点がほとんどで、積極的な含鉄資材の施用が必要である。

3)有機物の施用

(1)施用基準

有機物の施用は腐植の維持・向上を図る上で、極めて重要である。

腐植は、土壌の主要な性質（化学性、物理性、生物性）を良好に保つうえで極めて重要な役割を果たす。しかし、多量に施用すると過剰障害を生じるので、表Ⅱ-2-5を参照し施用する。

表Ⅲ-1-4 家畜ふん尿施用基準の算定基礎（1976年 中国農試とりまとめ）

家畜ふん尿 の 種 類	牛			豚		鶏	
	生ふん	液状き ゆう肥	おがくず たい肥	生ふん	おがくず たい肥	乾燥 ふん	おがくず たい肥
窒素濃度(%)	0.35	0.45	0.6	0.6	1.0	3.0	2.0
有効化率(%)	30	55	15	70	35	70	35
有機物1トンの施用 時の肥料代替量 (kgN/10a)	1.0	2.5	0.9	4.2	3.5	21	7.0

注) 水稻への全施肥量のうち有機物の肥料代替量（単年度）は、牛ふんの場合 3 kgN/10 a、豚ふん、鶏ふんの場合 6 kgN/10 a までとする。

(2)施用方法

ア. 稲わら

- ・切りわらを、比較的温暖な秋期のうちにすき込み、腐熟促進を図る。
- ・年内にすき込みができなかった場合や、積雪地、粘質田では、腐熟を促進するため、石灰窒素を 10 kg/10a 程度施用し、できるだけ早くすき込む。
- ・湖南や湖東地域の乾田では、稲わらの分解が比較的に早いので、窒素肥沃度維持や栄養塩類の流出負荷軽減の観点から、平すきでの管理が適当である。

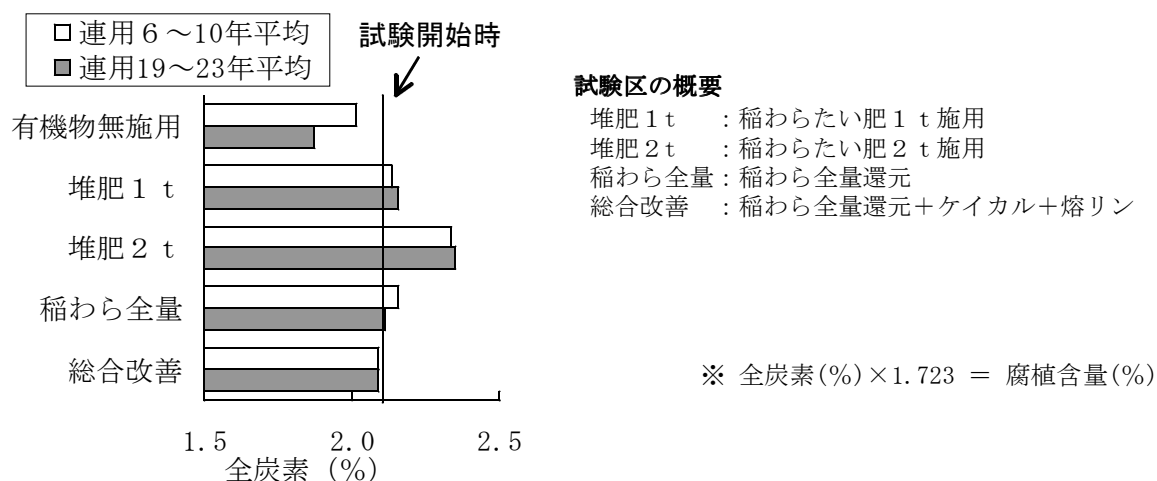
イ. 家畜ふん尿、たい肥、野草など

- ・家畜ふん尿はできるだけたい肥化して施用する。施用後は直ちに土壌と混合し、分解を促進するとともに、流亡による損失を防止する。
- ・家畜ふんたい肥を施用した場合、基肥を減量し、場合によっては追肥も省く。牛ふんを連用する場合は、1, 3), (3), ウを参考に基肥、追肥Ⅲ、1, 3) を減量する。
- ・野草は堆積によって腐熟したもの、もしくは乾燥したものを施用する。

(3)有機物の施用効果

ア. 腐植含量の維持・向上

有機物の施用は腐植含量の維持・向上に効果的である（図Ⅲ-1-1）。稲わらの全量すき込みの継続によって、当初の腐植含量が維持でき、稲わらたい肥 1 トン/10a の代替が可能である。



図Ⅲ-1-1 有機物および土づくり肥料の連用による土壤中全炭素含量の経年変化
(滋賀農試、安土試験地、半湿田、作土層)

イ. 増収効果と食味への影響

有機物の連用により土壤肥沃度が向上し、増収が期待できる。稲わら・稲わらたい肥および牛ふんたい肥の連用による増収効果は、14～19年連用の場合3～13%認められている。

また、有機物および土づくり肥料の連用によって、施肥量の削減が図れるとともに、玄米蛋白含量の適正化が図れ、食味向上が期待できる。

表Ⅲ-1-5 有機物の連用が土壤肥沃度と水稻収量に及ぼす影響 (滋賀農試 1991年)

調査地	試験区	連用年数	可給態窒素 mg/100g	可給態リン酸 mg/100g	施肥N量 kgN/10a	精玄米重 (収量比) kg/10a	N吸収量 kgN/10a
安土 (グライ土)	化学肥料単用		3.0	2.1	10	600(100)	13.5
	稲わら全量還元	16	3.9	6.3	10	628(105)	14.8
	稲わらたい肥 2 t	16	4.0	6.1	10	644(107)	14.3
	牛ふんたい肥 2 t	19	6.5	19.3	4	670(112)	12.8
安曇川 (褐色 低地土)	化学肥料単用		1.9	24.9	10	492(100)	9.3
	稲わら全量還元	15	2.4	27.7	10	539(110)	9.8
	稲わらたい肥 1 t	15	2.4	35.2	10	554(113)	9.8
木之本 (グライ土)	化学肥料単用		2.7	10.0	9	517(100)	9.1
	稲わら全量還元	14	2.7	12.1	9	572(111)	10.2
	稲わらたい肥 2 t	14	2.9	12.3	9	530(103)	10.3

注) 供試品種：日本晴。可給態窒素：湿潤土、30℃・4週間培養によるアンモニア化成量。
可給態リン酸：トルオーグ法。

表Ⅲ-1-6 稲わらと土づくり肥料の連用が水稻収量と玄米蛋白含量に及ぼす影響(滋賀農試 1998年)

	施肥N量(kgN/10a)			水稻収量 (kg/10a)		玄米蛋白 含量 (%)
	基肥	追肥	穂肥	わら重	精玄米重	
有機物無施用	2	1	2+2	537	530	6.52
稲わら単用	2	1	2+1	615	552	6.37
稲わら+土づくり肥料	2	1	2+1	605	543	6.02

注) 品種: コシヒカリ。土壌条件: 中粗粒グライ土。土づくり肥料: 熔リンとケイカル併用。

ウ. 化学肥料節減

施用する有機物由来の窒素量は年次によって変動するが、有機物の窒素利用率を40%として換算すると1～4 kgN/10 a 程度になり、有機物無施用区と同等の収量を得るのであれば、化学肥料を10～40%削減可能である。

半年程度堆積されて腐熟の進んだおがくず入り牛ふんたい肥を毎年2 t/10a施用することで、窒素施肥量の削減が可能となる。半湿田では、連用7年目までは基肥と追肥の減量、10年目には基肥と追肥の省略ができる。また、10年目以降は、穂肥に有機質肥料(菜種油粕)を利用することで、無化学肥料栽培が可能となり、慣行栽培と同等以上の収量と品質が得られる。

なお、土づくり肥料を併用する場合には、肥料に含まれる石灰によって土壌有機物や施用有機物の分解が促進されるので、土壌の窒素肥沃度を維持・増強するためにも有機物を継続的に施用することがより重要となる。また、非作付期間中には、黒ボク土のみならず、グライ土でもリン酸肥沃度が低く、土壌微生物の制限要因になりやすいので、可給態リン酸(トルオーグ法)が20mgP₂O₅/100g以下の水田では稲わらをすき込む際にリン酸資材を併用する。

たい肥化处理された家畜ふんは、地力培養資材として、また有機質肥料として高い効果を示す。ただし、ふんの種類、敷料の種類、堆積方法などによって肥効に違いが生じるが、おがくず入り牛ふんたい肥の場合、毎年2 t/10 a(窒素で10kgN/10 a)程度が施用の適量である。

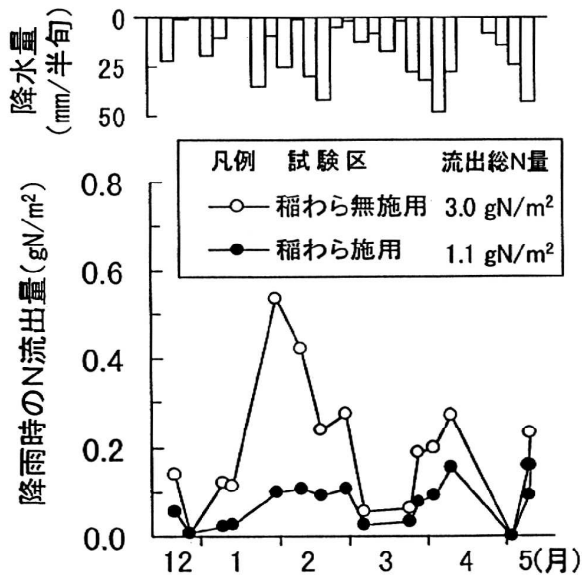
表Ⅲ-1-7 牛ふんたい肥連用田における無化学肥料栽培法(滋賀農試 1996年)

穂肥施用概要			玄米成分		
肥料の種類	窒素施肥量 (kgN/10a)	施用時期	精玄米重 (kg/10a)	N含量 (乾物%)	食味指数 Mg/(K・N)
速効性肥料	4	出穂25日前	578(100)	1.29	101
菜種油粕	4	出穂35日前	601(104)	1.29	108
無肥料	—	—	466(81)	1.27	106

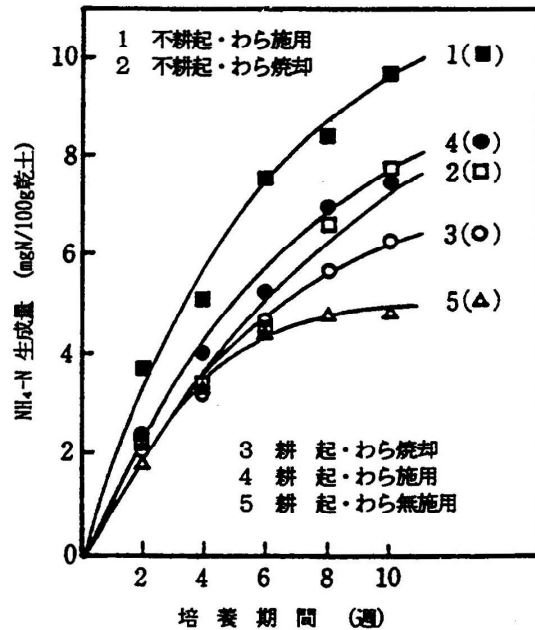
注) 品種: 日本晴。土壌: 細粒グライ土。たい肥20年連用。基肥および追肥を省略。

エ. 有機物施用による流出負荷軽減

稲わらは炭素率（C／N比）の高い有機物で、分解時に微生物が土壤中の無機態窒素を取り込むため、秋期の稲わらすき込みは水稻非作付期の窒素、特に硝酸態窒素の流出軽減に有効である。また、非作付期に有機化された窒素は水稻作付期に地力窒素として有効化し、水稻の安定生産に寄与する。



図Ⅲ-1-2 稲わら施用による水稻非作付期のN流出負荷軽減効果（滋賀農試 1996～1997年）
注）ポット試験。稲わら 1t/10a施用。



図Ⅲ-1-3 水稻非作付期の耕起・稲わら施用が湛水前土壌のアンモニア化生成量に及ぼす影響

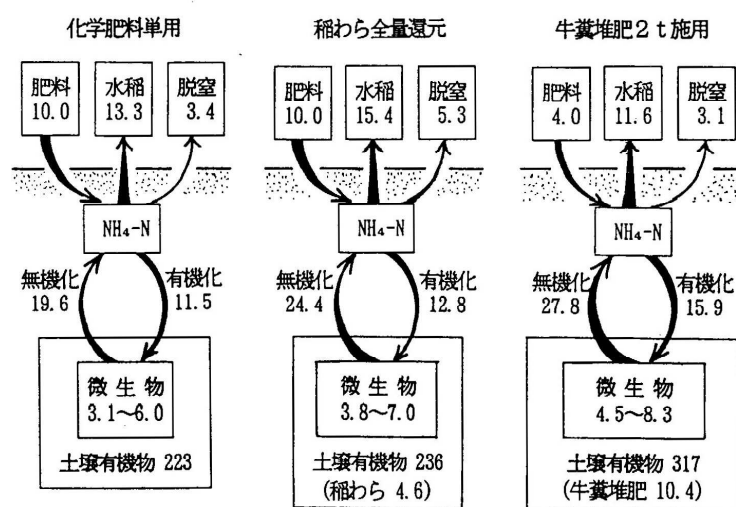
※湿潤土を30℃で10週間湛水静置培養

稲わら連用田と牛ふんたい肥2 t連用田の浸透排出量を比較してみると、牛ふんたい肥連用田の方が特に非かんがい期に窒素排出量が多くなる。しかし、かんがい期には牛ふんたい肥連用によって基肥と追肥が省略できることから、この時期の地表排出量は抑制できると考えられる。したがって、牛ふんたい肥連用によって年間の水質汚濁成分の排出量はそれほど増大しないと考えられる。

牛ふんたい肥の連用は、微生物菌体量（微生物バイオマス窒素）を1.5倍に増加させ、稲作期間中の地力窒素発現量（無機化量）を8 kgN/10 a 増加させることにより、6 kgN/10 a の施肥節減を可能にしている。また、牛ふんたい肥は、稲わらの全量すき込みに比べて、脱窒量（ガス化による損失）を少なくし、無駄の少ない、効率的な窒素の循環にするとともに、畜産廃棄物を自然に浄化している。さらに、牛ふんたい肥連用田では、有機質肥料を穂肥に利用した無化学肥料栽培が可能になる。

表Ⅲ-1-8 牛ふんたい肥および稲わら連用田からの水質汚濁物質の浸透排出量
(試算値 滋賀農試 1979年)

	COD	N	P	K
	kg/10a			
稲わら連用田				
かんがい期間	6.52	1.01	0.08	3.05
非かんがい期間	3.92	1.71	0.02	1.28
年間合計	10.44	2.72	0.10	4.33
牛ふんたい肥連用田				
かんがい期間	6.84	0.93	0.09	3.13
非かんがい期間	4.49	3.54	0.03	1.74
年間合計	11.33	4.47	0.12	4.87



図Ⅲ-1-4 稲作期間における水田土壌の微生物バイオマスと窒素の動態
(単位：kg/10 a、滋賀農試 1992年)

4) 土づくり肥料・資材の施用

土づくり肥料の施用は、バランスのとれた土壌養分状態を維持し、根活力・施肥効率等が向上することで省化学肥料が可能となる。また、水稻の健全な生育が確保されることで、省農薬が図れる。

(1) 土壌養分の現状

県下205地点の定点4巡目調査（1994～1997年）について土壌養分状態をみると、次表のとおり地点による変動が極めて大きい。土づくり肥料の施用を必要とする地点がある一方で、土づくり対策の実施によって、可給態リン酸および可給態ケイ酸が目標値以上の地点が多くなっているのが現状である。

このため、環境保全的な観点からも、土づくり肥料や土壌改良資材の施用に際しては、土壌診断に基づく施用の重要性がますます高まっている。

表Ⅲ-1-9 定点調査における水田土壌養分量の現状(滋賀農試 1994～1997年)

	可給態リン酸	可給態ケイ酸	遊離酸化鉄
目標値以下	44 (地点)	10 (地点)	13 (地点)
目標値内	56	8	25
目標値以上	105	24	4
最大値	85.8(mg/100g)	177.4(mg/100g)	3.20 (%)
最小値	2.4	4.9	0.27

注) 可給態ケイ酸と遊離酸化鉄は重要定点(42地点)の数値

(2) 施用基準

表Ⅲ-1-10 土づくり肥料・資材の施用基準 (kg/10a)

要因別			標準土壌区	ケイカル	熔リン	含鉄資材
還元層あり	全層もしくは作土直下より還元層	土性Sまたは30cm以内に砂礫層あり	I A	150	—	—
		その他のもの	I B	150	—	—
	30cm以下から約70cmまでに還元層がある	土性粗粒質	II A	(150)	40	300
		土性中粒質	II B	150	—	—
還元層なし	砂礫層なし	土性粗粒質	III A	(150)	40	300
		土性中粒質	III B	150	40	—
		土性細微粒質	III C	150	—	—
	砂礫層あり	砂礫層30cm以内にあり	IV A	(150)	40	300
		砂礫層30～60cm以内にあり	IV B	(150)	40	300
		砂礫層の上部の土性粗粒質および中粒質	IV C	150	—	—

注) ①含鉄資材および優良粘土：秋落現象が解消するまで毎年施用する。なお、秋落現象の著しい水田では粘土の客土が望ましい。

②ケイカル：土壌中の可給態ケイ酸15mg/100g以下、または稲わら中のケイ酸13%以下の水田で施用する。()内は含鉄資材施用の場合は不要。

③熔リン：下記の土壌条件のところに施用する。

ア) 可給態リン酸10mg/100g以下の水田。

イ) 可給態リン酸10mg/100g以下で、リン酸吸収係数が1,000以上(黒ボクや重粘土)の水田では熔リン施用量を基準量より1.5から2.0倍増量する。

ウ) 陽イオン交換容量が小さく、塩基の溶脱しやすい水田。

エ) 置換性苦土含量が15mg/100g以下の水田。

オ) ア)、イ)以外では熔リン中のリン酸を肥料成分として考慮する。

④土壌のpH(H₂O)が6.5を上回る場合は、アルカリ性資材の施用を一時中止する。

(3) 土壌診断に基づく土づくり肥料・資材の施用基準

ア. pH6.5以下の場合

次の図にしたがって、リン酸、ケイ酸および含鉄資材の施用量を決める。

熔リン施用量 (kg/10a)

リン酸吸収係数 1,000	80	40	0
	40	20	0
	10	20	
	可給態リン酸(mg/100g)		

ケイ酸、含鉄資材施用量 (kg/10a)

遊離酸化鉄 含量 (%)	2	ケイカル 150	ケイカル 100	0
	0.8	転炉さい 200	転炉さい 100~150	肥鉄土 300
		転炉さい 300	転炉さい 200	肥鉄土 500
		15	30	
		可給態ケイ酸(mg/100g)		

イ. pH6.5以上の場合

下図にしたがって、リン酸および含鉄資材の施用量を決める。

ケイ酸源として稲わらやもみ殻等の有機物を積極的に施用する。

遊離酸化鉄 含量 (%)	2	重焼りん 40	重焼りん 20	0
	0.8	重焼りん 40 肥鉄土 300	重焼りん 20 肥鉄土 300	肥鉄土 300
		重焼りん 40 肥鉄土 500	重焼りん 20 肥鉄土 500	肥鉄土 500
		10	20	
		可給態リン酸(mg/100g)		

注) リン酸吸収係数が1,000以上の土壌では、上記図中の重焼りんの施用量を1.5~2.0倍とする。

(4) 土づくり肥料・資材の効果

ケイ酸の施用効果は、登熟歩合の向上、病虫害（特に冷害年はいもち病等）に対する抵抗性の向上、倒伏の軽減、根腐れ・秋落の防止などが挙げられる。ケイカルは施用しても溶脱することがないため、労力面で余裕のある稲収穫後に全面施用し、秋耕起により土壌とよく混和するようにする。

表Ⅲ-1-11に示したように、リン酸およびケイ酸肥料の連用により土壌中の可給態リン酸と可給態ケイ酸含量が増加する。

また、表Ⅲ-1-12、表Ⅲ-1-13および図Ⅲ-1-5に示すように、有機物や土づくり肥料を施用することで、収量の安定と食味向上が図れ、いもち病の発病も抑制することができる。

表Ⅲ-1-11 土づくり肥料の連用による土壌養分の改善効果（滋賀農試 1993～97年）

試験地	土づくり肥料	有効態 リン酸	有効態 ケイ酸	遊離 酸化鉄
	kg/10a	mg/乾土100g		%
安土	—	5.9	10.7	2.31
	ケイカル150、熔リン40	13.2	66.8	1.94
安曇川	—	20.1	3.3	0.67
	ケイカル150、熔リン40	31.9	23.1	0.54
木之本	—	9.4	11.1	0.88
	ケイカル100	11.7	58.0	1.04
	ミネカル200	14.7	38.9	1.62

注）有機物：稲わら全量還元。連用年数：安土21年、安曇川20年、木之本19年。
遊離酸化鉄は1993年度のデータ。

表Ⅲ-1-12 有機物と土づくり肥料の連用が収量と食味に及ぼす影響（滋賀農試 1991年）

調査地	施用量		連用 年数	施肥 N量	精玄米重 (収量比)	N吸 収量	玄米成分		
	有機物	土づくり肥料 kg/10a					N %	Mg/K me/me	Mg/K/N 食味指数
安土 (グライ土)	—	—	—	10	600(100)	13.5	1.30	1.50	115
	稲わら	—	16	10	628(105)	14.8	1.40	1.53	109
	稲わら	ケイカル150 熔リン40	16	10	625(104)	13.9	1.36	1.52	112
安曇川 (褐色 低地土)	—	—	—	10	492(100)	9.3	1.14	1.41	123
	稲わら	—	15	10	539(110)	9.8	1.19	1.37	115
	稲わら	ケイカル150 熔リン40	15	10	511(104)	8.5	1.11	1.45	131
木之本 (グライ土)	—	—	—	9	517(100)	9.1	1.20	1.35	112
	稲わら	(炭カル100)	14	9	572(111)	10.2	1.23	1.43	116
	稲わら	ケイカル150 熔リン40	14	9	572(111)	10.7	1.18	1.47	124
		肥鉄土300							

注）供試品種：日本晴。

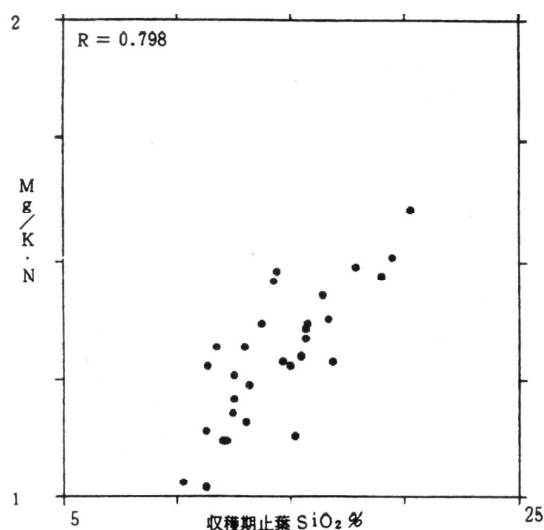
表Ⅲ-1-13 土づくり肥料の連用による可給態ケイ酸の増加といもち病の発病程度
(連用18年目、滋賀農試 湖西分場、1993年)

区 名	有機物		土づくり肥料		土壤中 有効態 ケイ酸**	わら中 ケイ酸	わら重	精玄米重	いもち病 発病程度*
	たい肥	稲わら	ケイカル	熔リン	mg/100g	%	kg/10a	kg/10a	0～10
1. 無 窒 素	—	—	—	—	5.3	6.5	357	269	0
2. 化学肥料単用	—	—	—	—	2.8	7.6	581	504	2
3. 稲わら全量還元	—	全量	—	—	3.0	7.9	616	525	2
4. 総合改善 1	1,000	全量	150	—	13.5	8.7	648	562	1
5. 総合改善 2	1,000	—	150	—	17.9	9.6	606	537	0
6. 総合改善 3	1,000	—	150	40	33.6	10.3	610	543	0
7. 総合改善 4	—	全量	150	40	41.2	10.4	628	545	0

注) 供試品種：日本晴

*：水稻奨励品種決定調査・病害および穂発芽性検定試験における穂いもち病発病程度の基準による

**：1992年水稻栽培跡地土壌の分析値

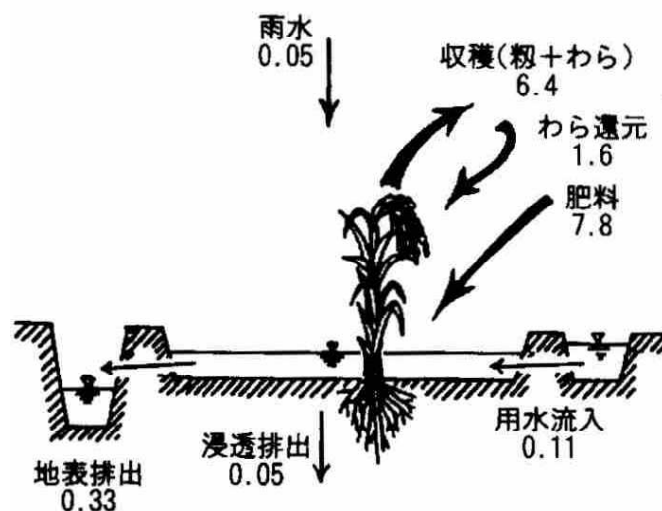


図Ⅲ-1-5 収穫期止め葉ケイ酸含量と玄米のMg / K · N比の関係
(昭和60年 土壌肥料対策生産改善実証ほ)

(5) リン酸資材の適正施用

土壌可給態リン酸（トルオーグ法）の改善目標値は、10～20mgP₂O₅/100gであるが、先にも述べたように、現在では改善目標値を超える水田も多く見られるようになった。

また、稲わらを還元すると稲作期間中のリン酸収支はプラスとなり、非作付期間を考慮しても年間収支はプラスとなる（図Ⅲ-1-6）。このプラス分は土壌に蓄積されることになるが、稲作期間中の湛水状態では蓄積したリン酸の一部が有効化することが知られている。この蓄積リン酸を有効に活用することが、リン酸資材の適正な施用を図るうえで重要である。



図Ⅲ-1-6 水稻作付期におけるリン酸の収支（滋賀農試 1985～1987年）
注）単位： $\text{kgP}_2\text{O}_5/10\text{a}$ 、湖東単筆田

水田のリン酸肥沃度を維持するためには、年間 $7.5\text{kgP}_2\text{O}_5/10\text{a}$ の施用が必要である。年間でその必要量を満たすリン酸が施用されていれば水稻時のリン酸が無施用であっても、収量低下は認められない。

表Ⅲ-1-14 可給態リン酸レベルと稲作時無リン酸栽培（滋賀農試 1993～1997年）

試験区			可給態リン酸	わら重	精玄米重
試験地	土づくり肥料	稲作時の施肥	$\text{mg}/\text{乾土}100\text{g}$	$\text{kg}/10\text{a}$	$\text{kg}/10\text{a}$
安土	ケイカル150、熔リン40 〃	慣行	13.2	858	635
		無リン酸	13.2	852	630
安曇川	ケイカル150、熔リン40 ミネカル200、熔リン40	慣行	31.9	759	580
		無リン酸	33.8	753	563
木之本	ミネカル200 ケイカル100、熔リン40 肥鉄土300	慣行	13.1	785	601
		無リン酸	14.7	776	602

注）品種：日本晴。可給態リン酸は1993～97年度水稻栽培跡における土壤分析値の平均値。
わら重および精玄米重は1994～1997年度結果の平均値。
各試験区とも稲わらは全量還元。
無リン酸区の窒素、カリ施肥は慣行区と同程度を施用

そこで、可給態リン酸が改善目標値に達している水田においては、表Ⅲ-1-15を目安に、土壤蓄積リン酸と土づくり肥料の肥効を考慮して、稲作時のリン酸の施肥量を少なくし、資源の有効活用と環境への負荷発生の軽減を図ることが重要である。

表Ⅲ-1-15 土壌診断（可給態リン酸）に基づくリン酸施肥の目安

可給態リン酸 mg/100g	土づくり肥料の施用量	リン酸施肥量
10以下	基準量 $\left[\begin{array}{l} \text{熔リン} 40 \sim 80 \text{kg}/10 \text{ a} \\ \text{重焼リン} 40 \end{array} \right.$	基準量
10～20	基準量の1/2	土づくり肥料分を減量
20以上	無施用	追肥リン酸の省略

5) 土づくりによる濁水の防止

土づくりによって濁水の発生を抑えることもできる。

牛ふんたい肥あるいは土づくり肥料を投入している水田でより置換性CaO、MgOが高く、SS、透視度が改善される（表Ⅲ-1-16）。

表Ⅲ-1-16 土壌の理化学性と濁水発生の関係（滋賀農試 1994年）

試験区	置換性			1 : 2 ^{*1}		1 : 10 ^{*1}	
	CaO	MgO	K ₂ O	SS	透視度	SS	透視度
化学肥料単用区	169	24	14	550	1.9	580	1.3
総合改善区 ^{*2}	294	39	14	90	7.6	412	1.7
牛ふん連用田	293	44	28	130	5.6	272	2.4

注：1）土壌と水の比率 供試土壌と水を1時間振とう後3日間静置し上澄み液について調査した。

置換性成分：mg/100g乾土 SS：mg/L 透視度：cm

2）総合改善区：稲わら還元、ケイカル150kg/10a、熔リン40kg/10a施用

6) 深耕

(1) 作土深の現状

定点4巡回調査（1994～1997年）によると、約70%の地点で改良目標値（15cm）未満であり、作土深の確保が必要となっている。

表Ⅲ-1-17 定点調査における水田土壌の作土深の現状（滋賀農試 1994～1997年）

作土深	多湿黒 ボク土	灰色 台地土	褐色 低地土	灰色 低地土	グライ土	泥炭土	合計
15cm未満	2	4	6	70	58	3	143
15cm以上	3	1	3	37	14	0	58

(2) 方法

- ・作土深の目標は15cm以上とし、適正な作土深を確保する。
- ・作土下に、ち密土層が存在する場合は、これを破碎し透水性向上を図る。
- ・砂質浅耕土の水田では、優良粘土を客土し（20t/10a程度）保肥力向上を図る。
- ・深耕に際しては、併せて土づくりを行うこと。

(3) 深耕の効果

深耕は、基本的に作土層の拡大を目的として行い、根の伸長、活力を高めることにより、健全な植物体の育成を図る。

特に、輪換畑ではすき床層の存在が、作物根の伸長と水の地下への浸透を抑えるので、これを破壊し、排水を良好にすることが大切である。

しかし、礫層が浅い位置に出現する場合や難透水性層によって地下水位の上昇が抑えられているような条件下では、逆効果となることがあるので注意する。

表Ⅲ-1-18に示すように、耕起が深くなるほど穂数や籾数が増加して増収する。このように、作土深の確保は水稻の安定生産のために不可欠である。

表Ⅲ-1-18 耕起深の違いによる水稻の生育・収量（滋賀農試 湖北分場 1985年）

耕起深	稈長	穂長	穂数	わら重	玄米重	1穂 籾数	m ² 当 り籾数	登熟 歩合	千粒重
	cm	cm	本/m ²	kg/10a	kg/10a	粒	千粒	%	g
1 2 cm	85	19.4	375	629	569(100)	86.8	31.6	78	21.5
1 5 cm	86	19.0	393	618	599(105)	89.4	35.1	79	21.5
2 0 cm	90	18.7	414	619	616(108)	93.6	38.7	72	21.3

注) 土壌条件：細粒グライ土、幡野統。品種：コシヒカリ。耕耘：ロータリ耕。

(4) 耕うんと砕土性

耕うん、砕土時の土壌水分、耕うん速度や耕うん回数によっても砕土率は変わるが、粘土含量が多い土壌ほど砕土率は悪くなる。改善策としては土壌の乾田化、有機物施用、少量の砂客土がある。水田のロータリ耕うんと土塊分布の関係は表Ⅲ-1-19のとおりである。

表Ⅲ-1-19 ロータリ耕うんと土塊分布（土壌物理用語辞典）

土 壤	粘土含量 %	耕耘時の 水分含量 %	耕耘速度 (m/s)	砕 土 率 (重 量 %)				土塊の平均重量値 径 (cm)
				8～4 cm	4～2 cm	2～1 cm	1 cm以下	
黄褐色 土 壤	22.1	27	0.38	26.0	21.3	15.7	37.0	2.62
		30	0.35	21.2	29.4	19.0	30.4	2.59
			0.39	51.0	19.7	11.7	17.6	3.91
			0.52	45.8	29.1	13.9	11.2	3.89
		34	0.37	39.5	30.6	13.7	16.2	3.57
			0.45	61.0	19.5	10.1	9.4	4.44
		42	0.37	21.9	39.9	25.6	12.7	2.95
			0.45	30.5	35.2	22.6	11.9	3.28
灰褐色 土 壤	15.6	50	0.25	33.0	38.9	19.3	8.9	3.48
			0.31	28.8	53.4	14.1	3.8	3.56
礫 層 土 壤	13.0	33	0.38	11.0	25.2	21.0	42.8	1.95
			0.48	22.5	21.1	19.0	37.4	2.46
		43	0.36	14.3	31.9	24.1	29.8	2.33
			0.49	24.6	29.6	22.9	22.9	2.82

7) 基盤整備における留意事項

(1) 表土扱い

表土扱いは、一般に耕起の対象となる作土を確保するために行うもので、作土の地力、厚さ、下層土の理化学性、傾斜、地形、換地等に対する農家の意向、経済的効果等を考慮し総合的に判断し決定されるべきである。

表土扱いする場合の作土厚は、水稻単作では15cmを目標とする。ただし、下層に礫あるいは泥炭層がある場合には、これを20cm程度としてもよい。

また、水稻と畑作物との輪作体系とする場合及び永久畑については、次の6項目の何れかに該当する土層が地表から30cmの間に連続して10cm以上含まれる土壌に限り、作土厚は25cmを目標とする。ただし牧草のみの作付体系の場合には、これを15cmとする。

①粗砂含量	40%以上(重量%)	} 表土扱い深20cm
②礫含量	50%以上(〃)	
③粗砂及び礫合計量	55%以上(〃)	
④土層のち密度	24mm以上(山中式硬度計)	
⑤泥炭及び黒泥炭(泥炭から変質した植物繊維がほとんど認められない程度に分解したもの)を含む		
⑥リン酸吸収係数	2,000以上	

また、原則として次の土壌型については表土扱いを実施する。

- A) 泥炭土壌(泥炭層の厚さ50cm以上)
- B) 泥炭質土壌(泥炭層の厚さが上部(50cm)に20cm以上)
- C) 黒泥土壌(泥炭層はあるがA)、B)に属さないもの、あるいは土層中に黒泥層が主として存在する土壌)
- D) 礫層土壌(30cm以内より砂礫層が出現するもの)
- E) 礫質土壌(30～60cmに砂礫層が出現するもの)

(2) 均平化

田面の均平は、作物の生育むらや除草効果、排水不良等の点から重要な意味を持っている。特に最近、大区画ほ場整備や直播栽培が進むにつれ、均平化の重要性は増している。

均平の問題は、表土の均平と心土基盤の均平に分けられる。ほ場整備時の基盤の切り盛りした後、特に盛り土高の大きいところでは圧密沈下がおさまってから次の工程にかかることが望ましい。また、積雪地帯では、秋におよその基盤均平工事をした後、春に表土を戻すのが効果的である。近年は、レーザー利用によるブルドーザー地均が行われ精度は高まっている。

表土の均平は、工事直後には均平であっても、湛水すると盛り土部で沈下が起こりやすく、再度均平化を図らねばならない。

近年は、レーザー利用によるトラクタ作業により、運土均平が容易に出来るようになった(Ⅱ, 5, 2), (2)ウ 参照)。

表Ⅲ-1-20 レーザー光利用によるトラクタ均平度推移（滋賀農試 1992年）
20m×80mほ場、単位：mm

調査時期	平均高度	標準偏差	最大値	最小値	最大高低差
不陸状態	0	39.88	+75.8	-92.2	168
ロータリ耕起後	+16.0	36.55	+82.8	-101.2	184
均平作業後	+5.3	22.42	+68.5	-58.5	127
ロータリ耕起後	+28.7	25.03	+45.1	-81.9	127

注) ①平均高度は不陸状態での平均高度を0（基準）とした相対的数値

②最大値・最小値はそれぞれの作業後の平均高度を0（基準）とした相対的数値

（3）客土

客土は、浅耕土地帯での作土厚の増加、作土の理化学性の改良、水田の浸透抑制、泥炭地での地耐力増強等を目的として、土取り場を設け砕土・搬入するものである。

対象となる農用地の状態と客土用土

- ①作土の土性が極端に砂質もしくは重粘土質である。（逆の土壌の客土）
- ②泥炭地で鉍物質土壌に乏しい。（鉍物質土壌の客土）
- ③作土中に微量要素が不足している。
- ④老朽化水田である。
- ⑤漏水が大きい水田である。（粘土含量が多く、置換容量の高いベントナイト等の客土）
- ⑥地耐力が小さい。（有機質土壌又はコロイド分を多く含む粘質土）
- ⑦浅耕土である。
- ⑧作土が薄く、そのままでは汎用農地化ができない。
- ⑨表土戻しの土量が不足している。
- ⑩地盤が低くかさ上げが必要である。
- ⑪土壌流亡が生じ、作土厚が不足している。
- ⑫作土に石礫が多く、それを取り除く適当な方法がない。
- ⑬土の入れ替えを要する。

ただし、客土のみでの効果は現れ難く、土壌改良資材、肥料との同時施用効果が大きい。

表Ⅲ-1-21 頁岩客土の効果（滋賀農試）

区 名	わら重 kg/10a	もみ重 kg/10a	玄米重 kg/10a	同比 %	屑米重 kg/10a	千粒重 g	もみ／ わら比
頁岩100t客土							
熔リン 100kg	872	778	616	115	15.9	22.0	0.89
熔リン 200kg	887	819	654	122	13.4	21.5	0.92
深 耕 20cm							
客土のみ	934	843	640	120	40.9	21.4	0.90
	869	767	599	112	11.7	22.0	0.88
頁岩20t客土							
	643	640	509	95	13.1	22.5	1.00
対 照							
	720	678	534	100	12.3	22.8	0.94

表Ⅲ-1-22 客土頁岩の成分

p H	有 効 態		置 換 性			酸 化	C E C	土性
	P ₂ O ₅	S i O ₂	K ₂ O	C a O	M g O	F e ₂ O ₃		
8.3	19.4	20.9	20.5	241	165	0.95	14.0	LiC

(4) 透水性不良対策

水稻の生育・収量安定確保のためには、湛水期に縦浸透を約20 mm/日に保つことができ、周到な水管理が可能な土壌条件が必要である。

ほ場の透水性は、土壌を構成する土層のうち、最小透水層の土壌の透水係数が $10^{-4} \sim 10^{-5} \text{ cm/sec}$ の範囲であることが望ましい。

特に近年は、大型農機使用による土壌の圧密やほ場の大型化により、透水性不良対策が重要となっている。透水不良の原因には大きく分け2通りある。

表Ⅲ-1-23 透水性不良の原因と対策

原 因	透 水 係 数	対 策
地下水位が高く 下層がグライ層 となっている	10^{-6} cm/sec 以下	・ 地域全体の排水系統を整備し、地下水位を下げる ・ 毎年酸化層直下に弾丸暗きょを施行 ・ 心土破砕 ・ 営農的に乾田直播や、田畑輪換等の栽培様式を行ったり、中干しや間断灌漑などの水管理を徹底する
土壌が圧密れ、 透水のための 孔げきが少ない	$5 \times 10^{-5} \text{ cm/sec}$ 以下 (固相率50%以上)	・ 心土破砕（2～3年おきが望ましい） ・ 暗きょ施行

(5) 漏水対策

水田での漏水は大きく2つに分けることができる。地下への縦浸透と畦畔等からの横浸透である。地下への縦浸透の大きな場合は、心土の床締めや粘土あるいはベントナイトなどの客土を行う。また営農的には、耕盤形成爪による耕うんにより縦浸透を軽減できる。

畦畔等からの横浸透は 基盤整備直後はあまり発生しないが、畦畔土壌の流出や侵食やモグラやネズミのそ穴、雑草防除のための除草剤散布後の雑草根あと穴などによって漏水が大きくなる可能性がある。

畦畔漏水対策としては、畦塗り、波板施行、畦作り機、畦畔埋め込みシート施行等がある（Ⅱ，5，4）参照）。

表Ⅲ-1-24 畦畔埋め込みシートによる減水深軽減効果

(濁水防止実践促進事業 愛東町青山、1989年)

ほ場	入水日 月・日	荒代かき 月・日	植代かき 月・日	田植日 月・日	入 水 回 数		減水深 (cm/日)
					荒代～植代	植代～田植	
対照							
122	4. 11	4. 11	4. 23	5. 6	3	1	1. 7
121	4. 11	4. 11	4. 23	5. 4	3	2	1. 7
135	4. 12	4. 12	4. 25	5. 4	3	1	1. 5
134	4. 12	4. 13	4. 25	5. 3	3	2	1. 7
平均					3	1. 5	1. 7
畦畔シート							
120	4. 11	4. 12	4. 23	5. 2	2	0	1. 4
119	4. 11	4. 13	4. 24	5. 4	2	0	1. 4
118	4. 12	4. 12	4. 23	4. 30	2	0	1. 4
77	4. 11	4. 12	4. 23	4. 30	1	0	0. 9
76	4. 11	4. 12	4. 23	5. 3	1	0	0. 9
133	4. 12	4. 13	4. 25	4. 29	2	0	1. 3
132	4. 12	4. 13	4. 25	4. 29	2	0	1. 3
131	4. 13	4. 13	4. 26	5. 6	2	0	1. 2
65	4. 11	4. 13	4. 25	5. 4	0	0	0. 0
66	4. 11	4. 13	4. 24	5. 4	1	0	0. 9
平均					1. 5	0	1. 1

表Ⅲ-1-25 畦畔シート設置と代かき方法のちがいによる減水深への影響 (滋賀農試 1993年)

試 験 区	田 植 直 後			中 干 し 後	
	1 筆 減 水 深			1 筆減水深	
	無畦畔シート	畦畔シート設置	縦浸透量	畦畔シート設置	縦浸透量
無代かき区	9. 0	2. 4	1. 4	5. 2	1. 7～3. 6
水田ハロー区	3. 9	2. 1	1. 2	3. 1	2. 5

注) 1筆減水深＝畦畔浸透量＋縦浸透量＋蒸発散量

表Ⅲ-1-26 耕盤形成爪による縦浸透軽減効果 (滋賀農試 1991年)

無代かき区		水田ハロー区	慣行区
慣行爪	耕盤形成爪		
6. 6	5. 4	6. 6	4. 5
(22)		(7. 0)	(6. 0)

() : 1筆減水深

(6) 早期熟田化対策

表土扱いすることによって、早期熟田化対策は比較的容易となるが、一般的に有機物や微量元素が不足しがちになるため、有機物施用や土づくり肥料を増量してもよい。

しかし、逆に乾土効果や作土層の増加から生育過剰になることもある。

さらに、盛り土部では生育過剰や機械作業に支障をきたすこともあり、基盤整備直後は特に注意が必要で、土壌診断を行い一作は控えめな施肥設計で試作するなどしてみることも大切である。