

3. 土づくりと施肥

水稻の環境保全型農業においては、側条施肥や肥効調節型肥料の利用による施肥量削減や代かき濁水の流出防止などによる環境負荷量低減がポイントとなる。また、土づくりにおいては基本技術の励行は勿論のことであるが、特に漏水防止、地力向上に努める必要がある。

1) 土づくり

(1) 作土層の拡大

水田の深耕は冬作利用時や水稻栽培時に行うことが望ましく、ロータリー耕では限度あるが可能な限り作土層全体を耕起し、鋤床層の表面が畝谷に散見されるよう深く耕す。できるだけプラウ耕を導入し表層土の反転混合に努力する。

(2) 有機物による土づくり

施用された有機物は土壌中の微生物によって徐々に分解され水稻に吸収される。また、含有するリン酸、カリなどの多くの無機成分は肥料的効果を見込むことが出来る（Ⅱ-3-2）有機資材による土づくり）。

しかし、未熟な家畜糞尿堆肥の投入は、還元化による初期生育の抑制、生育後半の窒素供給による倒伏やいもち病の発生を助長する。また、堆肥など有機物投入により地力を向上させるには、1～2 tの完熟堆きゅう肥を連用する必要がある。

レンゲ、ソルゴー、イタリアンライグラスのような緑肥作物を鋤込むと、有機物と同様に地力が増進する。緑肥作物の鋤込みは、保肥力向上（肥料流亡の防止）や土壌微生物相の多様化を保つ効果がある。

また、冬作に野菜、花きを栽培する場合は、それぞれの栽培管理に適合した時期に有機物を施用する（表7）。

表7 作付け体系別の土壌改良実施時期

作付け体系	土壌改良実施時期
水稻単作	11月～4月
水稻－野菜・花き	作付け転換期
水稻－飼料作物	11月及び5月
野菜・花き(水稻作付けなし)	作付け転換期

注) 水稻単作での土壌改良は秋鋤込みが望ましい。

① 稲わら全量還元

自給有機質資材は、生産された地域で活用するのが労力及び輸送の面から有利である。水田で生産された稲わらは、地力を維持するために可能な限り全量鋤込みとする。稲わらは稲刈り後直ぐの秋鋤込みが最も望ましいが、稲刈り後3月末まで（普通期移植の場合）に細断し全面に散布する。散布後4月までに石灰窒素を10a当り30kg程度施用・鋤込み、稲わらの腐熟を促す。稲わらの鋤込みによる増収効果は表8に示す通りである。

山間水田の湿田や平坦部の低湿地では、稲わら施用による還元障害を避けるため堆肥化して施用する。水稻単作ほ場においても前作の稲株や稲わらによる還元障害を避けるため秋冬期に耕起を行う。

裏作に野菜や花きを栽培した場合も残渣を出るだけ早く乾燥させ鋤込み、水稻作付けまでの期間を長くする。

表8 土壌改良資材の施用による増収効果

土壌改良資材名と10a当り年間施用量	土壌改良年数	
	1～10年間	11～20年間
稲わら600kg	100.5	107.5
ケイカル600kg+熔リン200kg	103.3	111.8
ケイカル300kg+熔リン100kg+稲わら300kg	105.7	106.8

注) 化成肥料のみで栽培したほ場の収量を100とした場合の増収率の平均値、調査期間: 1975～1994(和歌山農試)、品種: 「日本晴」、資材施用時期: ケイカル・熔リン: 夏作前と冬作前に各半量施用・稲わら: 冬作前

②有機質資材確保のため冬作飼料作物導入

冬作休閑水田では、可能な限りレンゲやイタリアンライグラス等の飼料作物を導入し、地力増強のため有機質資材の確保に努める。レンゲやイタリアンライグラス等は、正常に栽培された場合、地上部を刈り出しても刈り株及び地下部で十分な有機物補給が可能である。

冬作に飼料作物を導入した場合は、水稻刈り取り後稲わらを細断し全面散布して覆土がわりにする。冬作終了後地上部は持ち出して残渣は直ちに鋤込み、できるだけ水稻作付けまでの期間を長くする。

③レンゲ鋤込みによる土づくりと施肥

レンゲはマメ科の植物で、根にはレンゲ固有の根粒菌が共生して空気中の窒素を固定するため、施肥なしでも十分大きく生育する。このレンゲの持つ養分含量及び組成は刈り取り時期で異なる（表9）。

レンゲを水稻作付け前に鋤込むことは、2つの意義があると考えられる。その1つは、土づくりからみた土壤中腐植含量の維持・増強であり、もう1つは水稻の窒素肥料としての効果である。レンゲを水田に鋤込んだ場合は、両方の効果を見込めるが、地力維持・増強が主目的であれば若いレンゲ

よりも結実期の鋤込みが、また水稻の施肥を目的とする場合は、窒素含量が高い開花期が最適である。なお、レンゲの持つ窒素の約35%が肥料として期待できる。

表9 レンゲの無機成分含有率(乾物当たり%)

成分	刈取時期(月/日)						
	4/11	4/18	4/25	5/2	5/9	5/16	5/23
全N	4.60	4.80	4.28	3.73	3.45	3.20	2.63
水溶性N	0.21	0.24	0.20	0.18	-	0.15	0.15
P	0.43	0.42	0.34	0.36	0.33	0.32	0.30
K	1.88	1.88	1.44	1.44	1.38	1.50	1.50
S	0.57	0.35	0.28	0.28	0.42	0.35	0.39

「レンゲ鋤込み時の注意点」

a レンゲを鋤込んだ場合は、鋤込み量と鋤込み時期に応じて基肥施用量を少なくする必要がある。通常2 t/10aの生草の鋤込みは、4～6 kgの窒素施肥量に相当するが、レンゲ鋤込みから湛水までの日数が長いと窒素利用率が低下し減収する(表10)。

表10 鋤込みから湛水までの日数と収量

湛水までの日数	収量(g/株)
0	11.8
6	12.9
14	10.2

b レンゲ鋤込み後直ぐ湛水した場合、レンゲは急激に発酵・分解し土壤は強還元化する。このような条件下では有機酸や硫化水素ガス等有害作用を持つ物質が生成され、水稻の活着不良が生じやすい。このため、レンゲ鋤込み後の湛水開始時期は、窒素利用効率の高い鋤込み後1週間程度とする。

(3) 無機質資材による土づくり

適切な土壤管理には、土壤中の塩基類やリン酸など土壤養分状態を把握することが大切である。土壤診断を活用することで、適正な施肥が可能となり、肥料費の節減とともに過剰な施肥による環境への負荷を軽減することができる。

表11は県内の水田土壤の実態を示したものである。概ね土壤診断基準値と同程度の値を示しており、遊離酸化鉄含量の不足が目立っている。

表11 水田における土壌の実態と変化

調査項目	1079~1983		1984~1988		1989~1993		1994~1998		土壌診断基準値
	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差	
作土深(cm)	18.3	2.2	17.4	3.1	15.6	3.0	15.7	3.3	15以上
ち密度(mm)	14.6	4.4	14.1	4.6	11.2	4.2	16.5	5.2	—
仮比重(g/ml)	1.07	0.17	1.06	0.13	0.99	0.13	1.11	0.13	—
pH(H ₂ O)	6.0	0.6	5.9	0.4	6.0	0.5	5.8	0.5	6~6.5
pH(KCl)	5.2	0.6	5.0	0.5	5.1	0.6	5.1	0.6	—
EC(1:5)	0.09	0.07	0.15	0.16	0.14	0.14	0.13	0.14	—
T-C(%)	2.21	0.91	2.48	1.21	2.18	0.73	2.11	0.57	1.7~2.9
CEC(me/100g)	10.6	2.6	11.6	2.8	10.7	2.4	10.9	2.7	—
CaO(mg/100g)	167	61	176	70	136	50	165	68	—
MgO(mg/100g)	30	13	28	17	21	11	26	16	—
K ₂ O(mg/100g)	19	12	24	17	15	13	16	12	—
塩基飽和度(%)	77.5	28.6	72.4	23.9	57.8	23.0	69.9	24.0	70~90
石灰飽和度(%)	57.9	21.2	55.1	18.5	45.9	16.9	54.8	18.0	55~75
苦土飽和度(%)	14.7	6.2	11.8	5.9	9.9	5.5	11.9	6.2	13~20
加里飽和度(%)	4.0	2.9	4.6	3.1	3.1	2.8	3.3	2.6	3~10
P ₂ O ₅ (mg/100g)	65	98	48	35	58	50	67	61	10~80
SiO ₂ (mg/100g)	31	24	25	26	31	34	31	30	15~50
Fe ₂ O ₃ (%)	0.73	0.42	0.84	0.50	0.80	0.46	0.77	0.57	1.5以上

注) 作土層データ, 1巡目地点数: 全体77地点(参考: 内, 灰色低地土36地点, 黄色土32地点),

ち密度: 山中式土壌硬度計, 土壌診断基準値: 水稲(和歌山県土壌肥料対策指針, 一部土壌改良目標値含む)

①リン酸、塩基、ケイ酸の適切な補給

熔リン、石灰、ケイ酸資材等の無機改良資材の施用は、土壌診断により補給量を決定する。

ケイ酸を含む無機改良資材の施用効果は高く、増収が期待される。水稲栽培におけるケイ酸は、重要な役割(受光態勢、光合成促進、耐倒伏性、耐病性等)を果たしており、稲の吸収量も多い(表12)。ケイ酸資材連用により土壌中の可給態ケイ酸が増加、稲体中のケイ酸含量も増加し、いもち病の発病を抑制することができる(表13)。なお、止葉中のケイ酸含有率が10%より低い場合、ケイ酸資材の施用効果が期待できる。

塩基(石灰・苦土・カリ)は、量を確保するだけでなく塩基間のバランスを適正に保つことも重要である。降雨による表面流亡を避けるため、耕うんの前に施用し、全層混合を行う。水稲単作の場合は稲わらの鋤込み時の同時施用が効果的である。冬作栽培の場合は冬作作付け時に施用すると効果高い。この場合は水稲作に必須のケイ酸資材を石灰資材の代わりに使用する。浅耕土鉄欠水田ではケイ酸資材の代わりに含鉄資材を使用する。

表12 異なる土壌における稲の養分吸収量 (kg/10a)

土壌改良資材名と10a当り年間施用量	窒素	リン酸	カリ	ケイ酸
無窒素	4.4	2.1	5.9	51.5
(化成肥料のみ)	11.3	5.0	13.8	60.2
稲わら600kg	11.7	5.0	14.5	81.6
ケイカル600kg+熔リン200kg	11.0	4.6	13.6	123.9
ケイカル300kg+熔リン100kg+稲わら300kg	11.3	4.9	14.3	114.1

注) 無窒素区のリン酸・カリは化成肥料施用量と同等施用、調査期間1975~1994(和歌山農試)、品種:「日本晴」、裏作:タマネギ'OL'、資材施用時期:ケイカル・熔リン:夏作前と冬作前に各半量施用・稲わら:冬作前

表13 ケイ酸資材の施用による葉いもち病抑制効果

土壌改良資材名と 10a当り年間施用量	いもち病 発病度	可給態ケイ酸 mg/100g	ケイ酸含有率(%)	
			粳	わら
(化成肥料のみ)	0.32	13.2	3.8	7.8
稲わら600kg	0.29	11.5	6.2	8.8
ケイカル600kg+熔リン200kg	0.05	210.7	6.0	13.6
ケイカル300kg+熔リン100kg+稲わら300kg	0.11	132.9	4.5	12.5

注) 試験年次:1998年、品種「キヌヒカリ」、窒素5.0kg/10a、発病度=(5A+4B+3C+2D+E)÷(5×調査株数)・A:病班面積50%以上・B:病班面積10~50%・C:病班面積2~10%・D:病班面積0~2%・E:病班なし、土壌改良期間1975~1997(和歌山農試)、施用時期:ケイカル・熔リン:夏作前と冬作前に各半量施用、稲わら:冬作前

②含鉄資材の施用

含鉄資材の施用は、土壌診断により診断基準に照らして施肥の有無を決定する。

近年、水田での遊離酸化鉄の低下が著しく、含鉄資材の施用を継続・推進する必要がある(表11)。

水稲は鉄欠乏による生育障害を受けることは少ないが、水田土壌の還元化によって発生する硫化水素による根の障害を防ぐため、遊離酸化鉄は必要である。これは遊離酸化鉄が発生する硫化水素と結合して無害の硫化鉄となり、水稲の根を守る働きをするからである。

遊離酸化鉄含量が0.8%以下になると硫化水素発生量の急増が認められている。

水稲に対する硫化水素の害は、リン酸やカリ、その他養分の吸収阻害、いもち病やごま葉枯病の耐病性の劣化等があり、更に強くなると根ぐされを起こし、いわゆる老朽化、秋落現象を引き起こす。含鉄

資材の施用による増収効果の現地試験では5~10%の増収効果が認められている(表14)。

表14 含鉄資材の施用効果

	含鉄平炉滓	含鉄物+ケイカル
増収率(%) (標準を100とした場合)	109.6	105

注) 1956~1964年県下25ヶ所の平均

(4) 漏水田の漏水防止対策

水田の減水深が30mm/日以上の水田では、漏水過多による養分流亡が激しいので、漏水防止対策としてベントナイト(1~2t/10a)を作付け前の耕起時に全面施用し土と良く混和する。極端な漏水田では一部を鋤床に用い、残りを作土に混合すれば一層効果的である。

2) 施肥

水稲の安定多収は基本的に単位面積当たりの粒数と千粒重の増加による。粒数の確保には穂数確保と登熟歩合の向上であるが、西南暖地に属する和歌山県では登熟歩合の向上は困難な場合が多く、穂数の確保が最も重要であり、次いで後期栄養による千粒重の増加に重点をおく。

(1) 肥効調節型肥料(全量基肥施肥法)

被覆肥料など窒素成分の溶出を調節できる肥料の開発により、従来の基肥と穂肥2回の施肥体系から基肥以外は一切施用しない全量基肥施肥法が可能となった。この肥料資材は溶出期間の異なる被覆尿素肥料等を混合しており、肥料成分の溶出は地温の影響を受ける。肥効が継続するため稲体がやや軟弱となるが、慣行分施肥法の2割減肥で収量は同程度となる。

また、肥効調節型肥料を用いた側条施肥(側条施肥田植機利用)や育苗箱内全量施肥により2~3割の施肥量削減が可能である。付随効果として、側条施肥や育苗箱内全量施肥は、局所

施肥であるため全層施肥に比べて雑草の生育量が減少する。

なお、いもち病に弱い品種を作付けした場合は、肥効が継続するためいもち病の発生に注意する必要がある。

その他の利点は次の通りである。

- ・施肥成分が徐々に溶出するため、ほ場外への溶脱、流出が少なく環境への負荷が軽減できる。
- ・施肥作業の省力化が図れる。
- ・肥料成分の溶出は地温の影響を受け土壌条件に左右されない。

なお、施肥設計作成時には、水稻の品種・作型別に期待する収量水準を設けて適切な資材と施肥量を選定する必要がある（表15）。

表15 各種基肥全量施肥資材と収量

供試資材 (溶出日数)	資材A (70日)	資材B (100日)	資材C (100日)	資材D (120日)
慣行栽培に対する 収量比(%)	97.5	96	85.3	84.7

注)品種:「キヌヒカリ」、溶出日数:水田状態25℃で窒素が80%溶出する日数、播種:平成10年5月29日、移植:平成10年6月18日、栽植密度:20.8株/m²、施肥量:慣行栽培:窒素10.0kg/10a・基肥全量施肥資材:8.0kg/10a慣行栽培収量:639kg/10a、和歌山農試1998

(2) 有機質肥料

水稻は灌漑水から養分の補給が期待できるため、無窒素栽培でも 300kg/10a前後の収量が得られる。

有機質肥料を化成肥料の代わりに基肥や追肥に用いる場合は、窒素成分の肥効発現がやや遅いので、化成肥料よりも早目に施用する。施肥量は慣行栽培を基準にやや控えめとするが、葉色や生育を見ながら量を加減する（Ⅱ-3-3）有機質肥料の項参照）。有機質資材と側条施肥田植機を組み合わせた減肥栽培も可能である。

有機質肥料を多量に施用した場合は、土壌の急激な還元化、窒素過剰供給等によりいもち病の発生助長、倒伏等により減収することが想定されるため、資材選定に留意するとともに、適正施肥に努める。

堆肥等有機質資材施用にあたっては、土壌診断結果から施用量を決めるとともに、カリ含量が低いものもあるため、施用にあたっては注意する（表16）。

有機肥料による水稻栽培例では、皮革、骨粉、なたね油粕等を原料とした

表16 有機質資材の用途

資材名	土づくり	基肥	追肥
稲わら	◎	×	×
牛糞オガクズ堆肥	◎	×	×
鶏糞オガクズ堆肥	◎	○	×
豚糞オガクズ堆肥	◎	○	×
なたね油粕	×	◎	◎
だいで油粕	×	○	◎
魚粕	×	◎	◎

有機質肥料は化成肥料なみの収量が可能である（表17）。また、稲わらと鶏糞施用、牛糞堆肥と菜種油粕施用では土壌からの窒素無機化量が多く、また生育後半まで肥効が持続し、収数増による収量増につながった（表18、19）。

表17 有機質肥料と化学肥料栽培の収量比較

堆肥 t/10a	有機配合肥料 Nkg/10a	化成肥料 Nkg/10a	倒伏状態 0~5	収量 kg/10a
—	—	—	0	236
1	—	—	0	369
1	—	5(1)-6-6(1)	0	560
1	5(2)-6-6(2)	—	0	646

注)有機配合肥料:保証成分N-P₂O₅-K₂O 7-6-0 カリは塩化加里で施用、施肥量:成分量、基肥量(追肥量)のように表示、追肥施用時期:有機配合肥料区は幼穂形成期、化成肥料区は減数分裂期に施用、品種:ササニシキ、宮城県

表18 鶏糞の利用

稲わら kg/10a	鶏糞 kg/10a	化成肥料 Nkg/10a	倒伏状態 0~5	収量 kg/10a
—	—	—	0.0	369
600	—	4(3)	2.0	727
600	200	0(3)	2.5	644

注)稲わら・鶏糞:6年連用、現物施用量、施肥量:窒素成分量、基肥量(追肥量)のように表示、追肥時期及び追肥量:出穂期前15日前及び9日前に1.5kg施用、品種:コシヒカリ、新潟県

表19 菜種油粕の利用

稲わら kg/10a	牛糞堆肥 t/10a	菜種油粕 kg/10a	化成肥料 Nkg/10a	倒伏状態 0~5	収量 kg/10a
—	—	—	—	0.0	440
600	—	—	3(4)	2.8	600
600	—	70(70)	—	2.0	560
600	2	35(70)	—	2.7	631

注)堆肥:連用3年目、T-N1.3%、現物施用量、品種:コシヒカリ、菜種油粕:現物施用量、基肥量(追肥量)のように表示、T-N5.8%、基肥は入水14日前に施用、追肥は出穂21日前に施用、菜種油粕施用区にはカリ補給のため鶏糞灰20kg/10aを施用、化成肥料:成分施用量、基肥量(追肥量)のように表示、追肥施用時期及び量:2kg/10aを出穂11日及び18日前に施用、鳥取県

(3) 水稻裏作野菜地帯

水稻の裏作に野菜を栽培する2毛作地帯(特に春収穫の作型)では、裏作野菜の残存肥料や野菜残渣鋤込みによる水稻の倒伏が問題となっている。前作付け野菜の残渣量は、ハクサイ、キャベツで多く3~4 t/10aであり、残渣由来の窒素もハクサイ、キャベツで多く、約12kg/10aが鋤込まれている。収穫終了は、キャベツで5月上旬、ブロッコリーで4月下旬、ハクサイで4月上旬、レタスで5月中旬頃である。これらの作付け地域では、水稻作付け前の土壌診断

と栽培期間中の生育調査を行い、適切な施肥管理の行われることが望ましい（表20）。

また、残渣鋤込みによる異常還元が生じ易いのでほ場管理にも注意が必要である。

（4）濁水の流出防止

水稻生産は生産ほ場単位の環境負荷低減にとどまらず、周辺環境への環境負荷低減についても考慮が必要であり、代かき時や田植え時期の濁水の流出防止は、農業の面的な取り組み効果として評価されている。

濁水の流出対策として、「浅水代かき」がある。和歌山県で多く普及しているロータリー耕による「浅水代かき」実施には、水田の均平を高めておくことが重要であり、土面割合70%程度で代かき作業を行う。この際、耕うん状況が悪い場合は少量の水を入れながら作業を行う。また、代かき作業後の入水は、ほ場の水保ちの良否と田植え日を十分考慮の上、必要最小限の入水量とする。

滋賀県で実施された例では、浅水代かきを行うと慣行に比べて、地表排水による窒素流出量や農薬流出率が抑えられている（図3、表21）。

表20 代かき前土壌の窒素量(5月上～中旬)

作物名	硝酸態窒素 mg/100g	アンモニア態窒素 mg/100g
レタス(サニーレタス含む)	15.1(26.6～9.0)	6.0(14.0～1.3)
ブロッコリー	11.7(20.4～4.3)	4.3(12.6～1.0)
ハクサイ	11.0(21.8～2.3)	2.6(7.1～1.0)
キャベツ	6.9(12.6～0.8)	3.0(6.3～0.6)

注)和歌山農業改良普及所1988

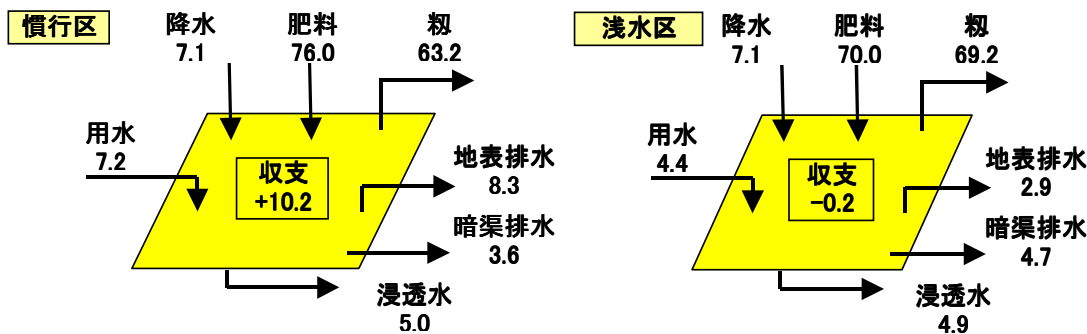


図3 年間の窒素収支(kg/ha) 年間＝作付期(2ヶ年平均)＋非作付期(2005)年

注)滋賀県(環境こだわり農業環境影響調査事業報告書H20.3より)、脱窒量及び生物窒素固定量は収支に含めない。稲わらは連年ほ場に還元されているので収支に含めない。

表21 水稻作付け期の農薬成分の流出量

処理区名	農薬 使用成分	農薬施用量 kg/ha	農薬流出量 kg/ha	流出率 %
慣行区	9	2.40	0.60	24.9
浅水区	6	1.10	0.23	21.2

注)滋賀県2006年データ(環境こだわり農業環境影響調査事業報告書H20.3より)