

1 石川県の水田土壌の概要

(1) 圃場整備状況

水田の圃場整備事業の推進にともない、平成20年度末現在の整備済み面積割合は89%に達しており、機械作業に効果的に対応しうる30a程度区画以上の割合は、昭和60年に30%であったが現在は76%に拡大している。

輪島鳳珠の中山間地では1ha程度区画以上の大区画圃場整備が少ないことや、金沢の都市近郊田では小区画整備のままであることなど、地域事情が伺える。

表1 水田の圃場整備状況（平成21年3月末）

（面積：ha、割合：%）

地区名		30a程度区画以上	うち1ha程度区画以上	30a程度区画未満	整備済み面積計	整備対象面積	(参考)水田面積
加賀	面積	2,970.7	330.2	17.8	2,988.5	3,019.0	3,068.0
	割合	98.4	10.9	0.6	99.0		
能美小松	面積	4,741.9	1,130.4	442.9	5,184.8	5,771.0	6,313.0
	割合	82.2	19.6	7.7	89.8		
白山石川	面積	4,068.9	548.8	108.5	4,177.4	4,517.0	4,983.0
	割合	90.1	12.1	2.4	92.5		
金沢	面積	543.3	501.2	733.1	1,276.4	1,294.0	2,778.0
	割合	42.0	38.7	56.7	98.6		
石川かほく	面積	1,382.0	510.6	262.1	1,644.1	1,813.0	2,680.0
	割合	76.2	28.2	14.5	90.7		
羽咋郡市	面積	3,976.8	1,794.0	597.1	4,573.9	5,587.0	6,513.0
	割合	71.2	32.1	10.7	81.9		
七尾鹿島	面積	2,276.9	808.4	782.3	3,059.2	4,154.0	5,306.0
	割合	54.8	19.5	18.8	73.6		
輪島鳳珠	面積	2,351.2	26.7	608.9	2,960.1	3,066.0	5,509.0
	割合	76.7	0.9	19.9	96.5		
珠洲	面積	799.6	314.0	131.3	930.9	981.0	1,274.0
	割合	81.5	32.0	13.4	94.9		
計	面積	23,111.3	5,964.3	3,684.0	26,795.3	30,202.0	38,424.0
	割合	76.5	19.7	12.2	88.7		

（石川県農業基盤課）

（注）1ha程度区画とは、一筆あたり50a区画以上の区画、また30a程度区画とは、一筆当たり20a以上の区画をいう。割合は、整備対象面積に占める割合

(2) 乾湿田別構成

県全体を網羅的に調査した地力保全基本調査（昭和53年）によると、県全体では半湿田から湿田の割合が大きく、特に羽咋以北の能登では圃場整備の遅れもあって80%強が半湿田から湿田となっていた。手取川扇状地の白山石川は乾田率が94%で、ほとんどが乾田である。ついで、金沢65%、能美小松52%と乾田の多い地区となっている。

現在は、圃場整備や暗きょ排水の施工など排水条件の整備が進められており、乾田率は増加傾向にある。

表2 乾湿田別割合

(%)

	乾田	半湿田	湿田
加賀	27.9	62.7	9.4
能美小松	52.3	43.3	4.4
白山石川	94.3	3.5	2.2
金沢	65.1	30.4	4.5
石川かほく	27.9	56.5	15.6
羽咋郡市	17.8	63.7	18.5
七尾鹿島	0.4	73.1	26.5
輪島鳳珠	20.4	60.7	18.9
珠洲	12.9	22.4	64.7
計	40.2	45.6	14.2

(3) 土性別構成

水田の土性別面積割合は、砂質土壌が3%弱と少なく、残りは、壤質、粘質、強粘質土壌が、それぞれ1/3程度の割合で存在している。地域別に見ると、輪島鳳珠及び珠洲の能登北部は、強粘質土壌が70%以上と非常に多く、粘質土壌も含めると90%以上となる。

一方、壤質土壌と砂質土壌の割合が最も高い地区は63%を占める七尾鹿島である。ついで、白山石川、羽咋郡市の順に中粗粒質土壌が多い。

表3 土性別割合

(%)

	砂質	壤質	粘質	強粘質
加賀	5.1	6.9	64.6	23.4
能美小松	4.7	33.5	49.8	12.0
白山石川	7.3	41.8	50.0	0.9
金沢	0.6	26.1	36.5	36.8
石川かほく	0.0	6.1	65.8	28.1
羽咋郡市	0.6	45.2	20.4	33.8
七尾鹿島	3.8	59.1	8.8	28.3
輪島鳳珠	0.0	4.0	22.0	74.0
珠洲	0.0	6.6	11.1	82.3
計	2.8	30.1	35.7	31.4

(4) 作土深

近年、作土深が浅くなると共に、硬盤層のち密化による透水性の悪化が見られ、根の伸張阻害による収量・品質の低下が問題となる。このため、15cm以上を目標に深耕に努める。

県の平均値では、作土深が13cmにも満たなくなり、各地区でも浅層化が進んでいる。このような浅耕土水田では、ロータリーでの減速耕起やプラウ等を用いた深耕に努める。

表4 作土深 (平均値)

(%)

	昭和62年調査	平成9年調査
加賀	14.0	13.7
能美小松	13.4	13.2
白山石川	14.1	13.8
金沢	12.7	14.1
石川かほく	13.5	12.6
羽咋郡市	12.5	11.9
七尾鹿島	12.9	12.4
輪島鳳珠	11.9	12.1
珠洲	14.0	11.4
計	13.2	12.9

(5) 土壌中養分含量

① pH

pHの経年的な大きな変動は見られないものの、客土による基盤整備田等では酸性土壌が多く、このような圃場では植物に有害なアルミニウムイオンが溶出し、根の障害により養水分吸収力が低下する。このため、pHが6.0~6.5になるよう、石灰質肥料を施用する。

J A別 pHの平均値では、はくいや珠洲市がpH5を下回っており、このような酸性土壌では矯正に必要な石灰質肥料の施用量が多いこともあり、計画的な施用が望ましい。

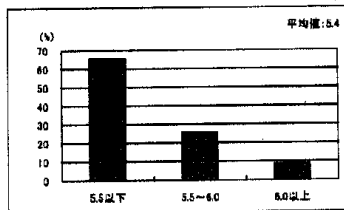


図1 pHの頻度分布

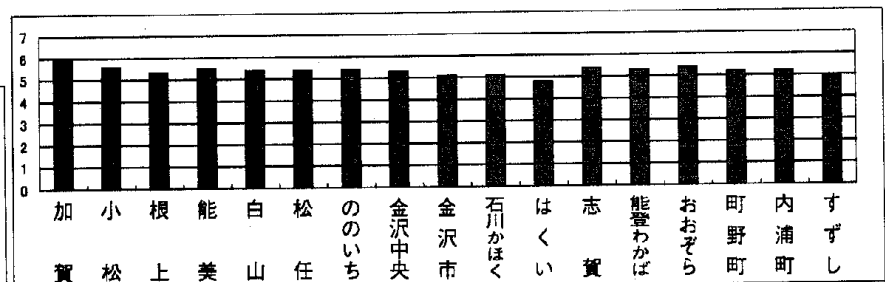


図2 pHのJA別平均値

②腐植

近年、堆きゅう肥等の有機物施用量の減少に伴い、腐植含量の低下が見られ、保肥力・保水力および可給態養分の低下が問題となる。このため、診断基準値3%以上を目標に堆きゅう肥やレンゲ等の緑肥作物の導入に努める。

J A別腐植含量の平均値では、根上、松任、かほく、内浦では2%を下回っており、このような圃場では有機物の積極的な施用を図る。

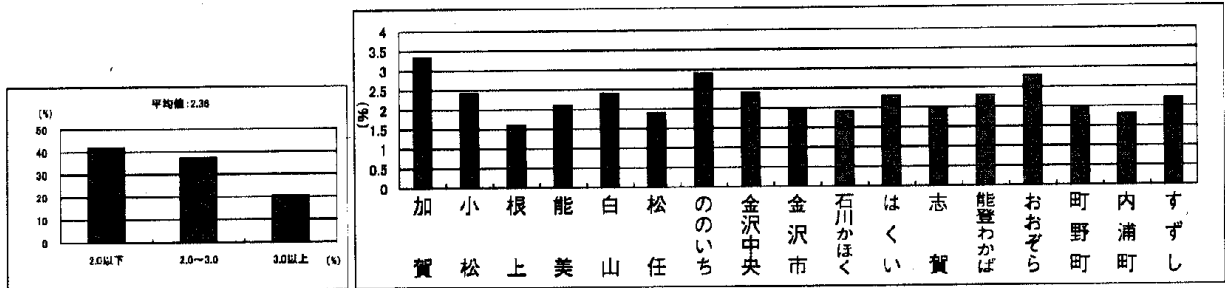


図3 腐植の頻度分布

図4 腐植のJA別平均値

③有効態リン酸

有効態リン酸含量の経年的な大きな変動は見られないものの、客土による基盤整備田等では不足する土壤が多く、このような圃場ではイネの分けつが不良となる。このため、土100g当たり10mg以上を目標に、不足分に相当するリン酸質肥料を施用する。

J A別有効態リン酸含量の平均値では、全般に診断基準値の10mgを上回っているが、基盤整備田や火山灰土壤等では、持続的な肥効を示す「く溶性リン酸」を含む肥料を施用するのが望ましい。また、野々市では30mgを超えており、このようなリン酸富化土壤ではリン酸の低成分肥料の導入により低コスト化を図る。

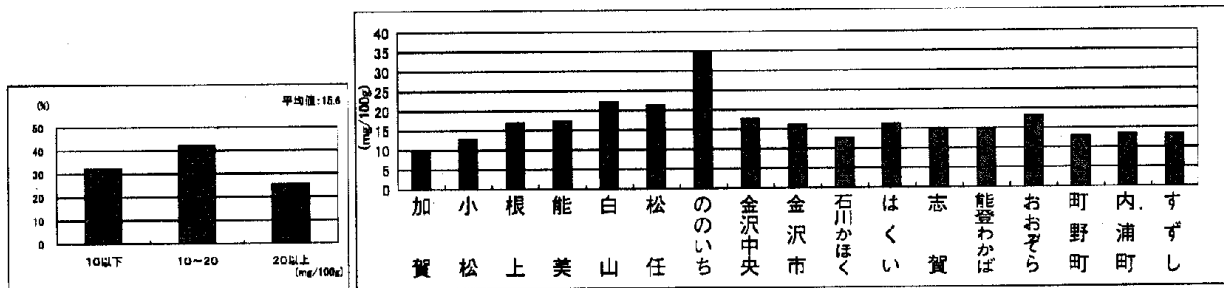


図5 有効態リン酸の頻度分布

図6 有効態リン酸のJA別平均値

④交換性カリウム

交換性カリウム含量は土壤供給量が多いこともあり、経年的な大きな変動は見られないものの、不足すると作物の水分利用や炭水化物合成を阻害するため、土100g当たり15~30mgを目標に、不足分に相当するカリウム肥料を施用する。

J A別交換性カリウム含量の平均値では、全般に診断基準値の15~30mgの範囲内であるが、根上、白山、能美、松任では診断基準値を下回っており、このような圃場では土壤診断に基づきカリウム肥料を適量施用する。

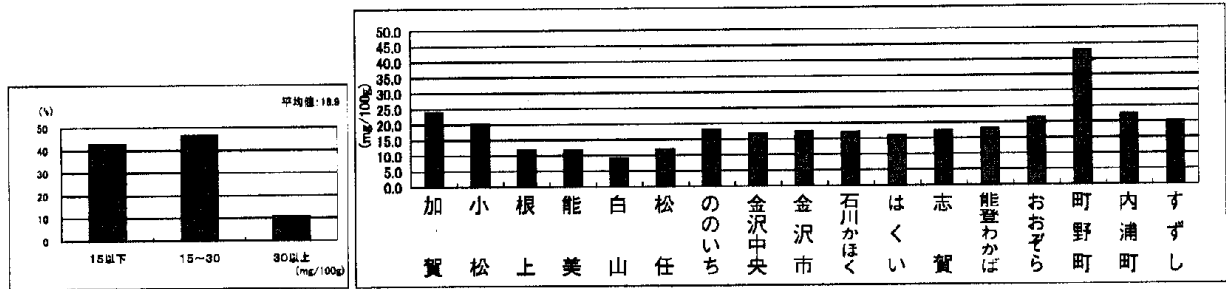


図7 交換性カリウムの頻度分布

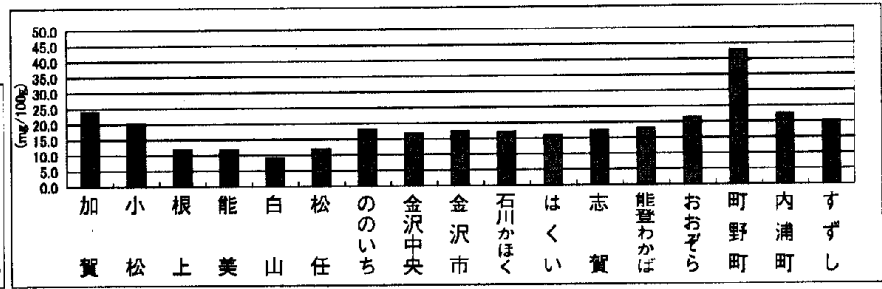


図8 交換性カリウムのJA別平均値

⑤有効態ケイ酸

近年、ケイ酸質肥料の施用量の減少に伴い、有効態ケイ酸含量の低下が見られ、不足すると根の活力低下による登熟不良や稲体の軟弱化をもたらすため、土100g当たり15mg以上を目標に、不足分に相当するケイ酸質肥料を施用する。

J A別有効態ケイ酸含量の平均値では、全般に診断基準値の15mg以上を上回っているが、不足しないように、計画的なケイ酸質肥料の施用に努める。

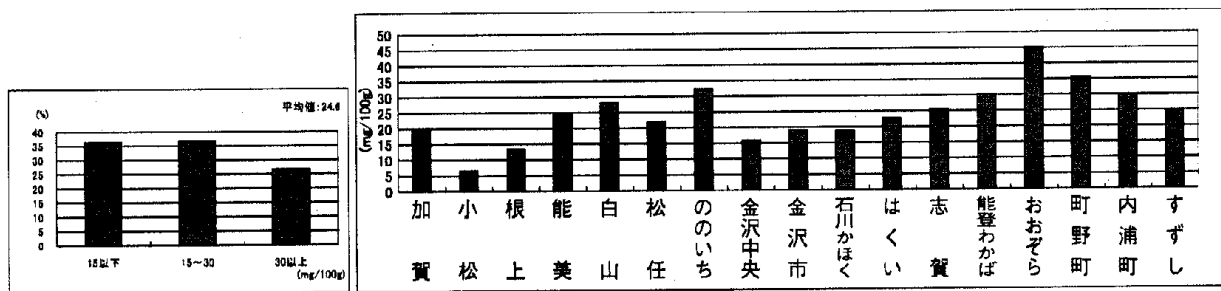


図9 有効態ケイ酸の頻度分布

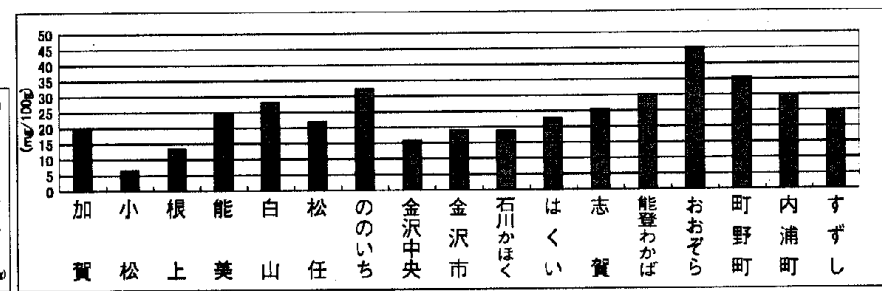


図10 有効態ケイ酸のJA別平均値

2 肥料コスト低減に向けた施肥対策

世界的な肥料需要の増大や資源産出国の自国向け供給優先策を背景とした肥料原料価格の上昇傾向は、当面続くことが予想され、農業経営に大きな影響を及ぼすことが懸念されている。こうした中、肥料コストの低減を可能とする施肥体系の転換を進めることが、環境にやさしい農業を進めるうえからも重要となっている。

(1) 土壌診断に基づく施肥管理

作物の安定生産を図るには、作物が必要とする養分吸収量を満たすため、土壌からの養分供給量では不足する分を施肥により補う必要がある。施肥設計にあたっては土壌診断を実施し、その結果に基づき土壌中の成分量に応じた適正な施肥を行うことが重要である。特に、リン酸やカリウム含量の高い土壌については、リン酸分やカリウム分の肥料の節減が可能となる。

図11は、水田での土壌診断による減肥のイメージを示している。この場合、適正範囲にある圃場Aに対し、圃場Bはリン酸やカリウムが上限値を超えており、リン酸やカリウムの減肥が可能となる。

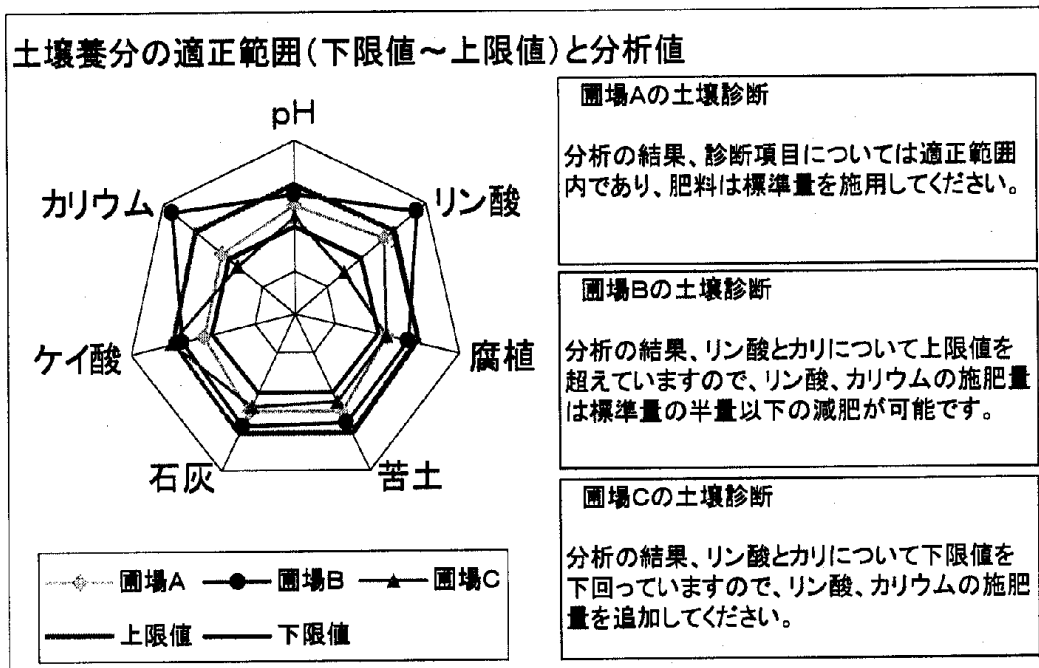


図11 水田圃場の土壌診断による減肥のイメージ

(2) 肥料利用率の高い施肥技術

施肥作業の省力化が可能となる側条施肥等の局所施肥や基肥一発肥料等の肥効調節型肥料は作物の肥料利用率を高めることから施肥量の節減が可能である。

図12は肥料と施肥法の違いによる水稻の窒素の利用率を見たものである。表面施肥に比べ局所施肥（根域近くへの施肥）である側条施肥により利用率は20～30%向上する。また、硫安のような速効性肥料に比べ、水稻の窒素吸収パターンに合うように肥料溶出を調節した緩効性の肥効調節型肥料では利用率が10～20%高まる。このような利用率の高い肥料、施肥法の導入により減肥が可能となる。

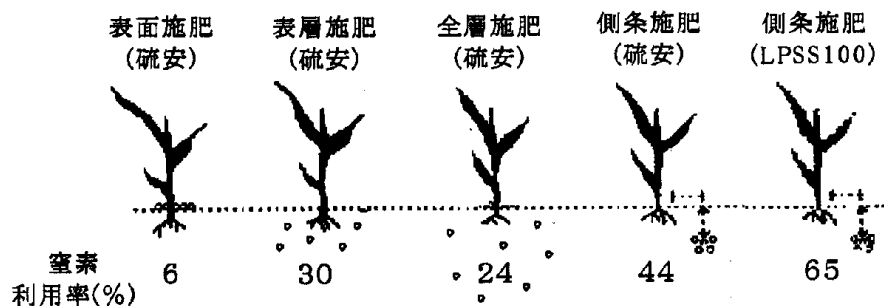


図12 肥料と施肥法の違いによる水稻の窒素利用率 (石川農研)

(3) 低価格肥料の利用

肥料成分1kg当たりの単価(成分単価)は、有機質配合肥料が最も高く、次いで高度化成肥料及び肥効調節型肥料で、単肥が最も安価である。高価な高度化成肥料から安価な単肥、低リン酸肥料等に切り替えることにより、施肥コストの低減が可能である。肥効調節型肥料は、成分単価は高いが、吸収効率が高いため施肥量を20~30%削減できれば施肥コストの低減が可能である。

土壤診断によりリン酸及びカリウムが十分に含まれている場合には、リン酸及びカリ成分の少ない低PK肥料あるいは低リン酸肥料の利用が可能となる。リン酸の成分単価が相対的に高いことから、高度化成肥料の中でも、低リン酸肥料は比較的安価である。

なお、低PK肥料を連用すると、土壤中の有効成分量の減少による生育不良が懸念される。このため、定期的な土壤診断を行い、施肥改善に努めることが重要である。

(4) 家畜ふんや堆肥等の利用

地域内の家畜ふんなどの有機性資源(有機物)を利用することで、施肥量の節減が可能である。併せて土壤の物理性の改善効果も期待でき、とても有用な資源といえる。

家畜ふんを材料とした堆肥の性質は、家畜ふんの種類や籾殻など材料によって大きく異なるので、施用する目的によってその種類を選ぶ必要がある。また、腐熟度によって肥効特性が異なり、堆肥が未熟であったり、材料に分解の遅いおがくずが使用されていると、施用初期に分解のために窒素の取り込みが起り、作物に対して期待した肥効が得られないことがある。

有機物が保有する養分量は「成分量」、作物が利用できる肥料養分として1作期間に供給される養分量を「有効成分量」、成分量に対する有効成分量の割合を「有効化率」という。

堆肥は、副資材の量や堆積条件によって、有機物の成分にばらつきが大きいことから、使用する有機物の成分量と有効化率(%)から有効成分量(kg/現物t)を計算し、有効成分量から減肥した施肥設計を立てることが必要である。

表5に、各種有機物の1t(現物あたり)に含まれる成分量と有効成分量を示した。有効成分量が化学肥料成分代替量となるので、有効成分量を施肥量からの減肥分とする。窒素だけでなくリン酸やカリウムの有効成分量も多いことから、リン酸やカリウムの減肥にもつながる。なお、有機物は成分についてばらつきが大きいので、表5は目安値として使用する。

表5 各種有機物1tに含まれる成分量と1年間の有効成分量

種別	有機物名	成分量(kg/現物t)*					有効成分量(kg/現物t)*			有効化率(%)**			
		水分(%)	窒素	リン酸	カリウム	石灰	苦土	窒素	リン酸	カリウム	窒素	リン酸	カリウム
家畜ふん堆肥	牛ふん	50	11	15	15	21	7	2	9	13	20	60	90
	豚ふん	29	27	50	21	45	18	14	35	19	50	70	90
	鶏ふん	20	28	59	31	127	18	17	41	28	60	70	90
水質混合堆肥	牛ふん	58	8	10	11	11	5	1	5	10	10	50	90
	豚ふん	44	14	30	15	29	8	4	18	13	30	60	90
	鶏ふん	37	23	38	20	40	17	7	23	18	30	60	90
その他の堆肥	稲わら	75	4	2	4	1	1	1	1	4	30	50	90
	剪定くず	64	5	1	2	10	2	0	1	2	0	50	90
	パーク	61	5	3	3	21	9	0	2	3	0	50	90
	モミガラ	55	5	6	5	7	1	1	3	4	20	50	90
	都市ゴミ	47	9	5	5	24	3	3	3	4	30	60	90
	下水汚泥堆積物	58	15	22	1	43	5	12	15	1	80	70	90
	食品産業廃棄物	63	14	10	4	18	3	10	7	3	70	70	90
緑肥	レンゲ	77	6	1	3	3	1	2	1	3	30	50	90
	ソルゴー	80	3	1	8	1	1	1	1	7	20	50	90
	イタリアライグラス	78	4	1	7	2	1	1	1	6	30	50	90
	トウモロコシ	81	4	1	2	3	1	1	1	2	30	50	90

[福島県資料(2008)]

* 成分量、有効成分量は、神奈川県(1994、2001)を参考に作成した。

** 有効化率は、神奈川県(1994、2001)及び千葉県(2001)を参考に作成した。

注1) 成分量と有効成分量は各有機物の現物当たりの量

注2) 有効成分量は施用後1年間に有効化すると推定される成分量

化学肥料と堆肥を併用する場合、堆肥の肥料効果を考慮しないと化学肥料に堆肥の肥料成分が上乗せされてしまい、作物の養分過剰吸収、土壤中の養分バランスの悪化、地下水の硝酸態窒素汚染等につながる恐れがある。

堆肥に含まれる肥料効果を考慮して化学肥料の施用量を算出することにより、施肥コストの低減と環境負荷の少ない施肥が可能となる。

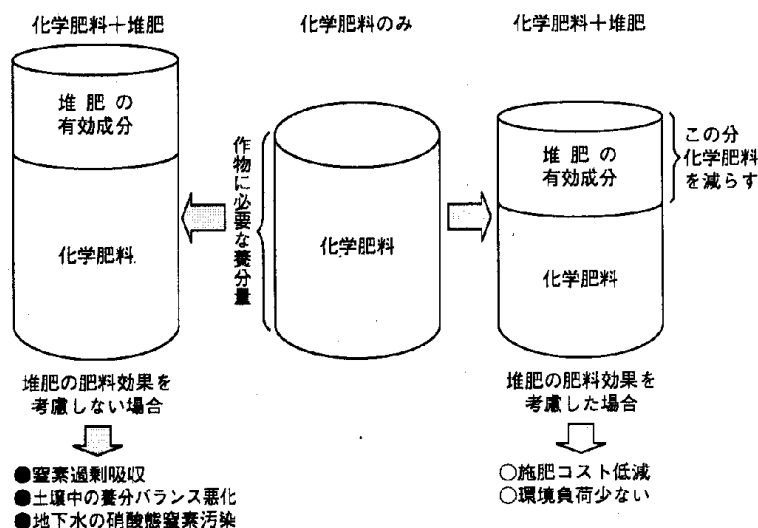


図13 堆肥中の肥料成分を考慮した減肥の考え方

堆肥施用における減肥量の求め方

$$\begin{array}{ccccccc} \text{堆肥中の有効成分量} & = & \text{堆肥施用量} & \times & \text{堆肥の成分含有率} & \times & \text{有効化率} \\ (\text{kg}/10\text{a}) & & (\text{kg}/10\text{a}) & & (\%) & & (\%) \end{array}$$

$$\begin{array}{ccccccc} \text{施肥量} & = & \text{施肥基準量} & - & \text{堆肥中の有効成分量} \\ (\text{kg}/10\text{a}) & & (\text{kg}/10\text{a}) & & (\text{kg}/10\text{a}) \end{array}$$

①家畜ふん等の特徴

ア 牛ふん

牛ふん以外の副資材を用いていない堆肥は、適度な分解性があり、ほどほどな肥料的効果と土壌改良効果がある。牛ふんは水分含量が高いため、副資材を用いている場合が多く、おがくずや籾殻などを用いて水分調整した堆肥は、C/N比が高くなり、肥料的効果はやや低く、土づくり効果は高くなる。十分に腐熟していない場合は窒素飢餓の懸念もあるので注意する。

イ 豚ふん

豚ふんは牛ふんに比べ、窒素、リン酸含量が高く、豚ふんだけの堆肥は、肥料的効果が高く、土づくり効果は低くなる。おがくずや籾殻などの副資材を用いて十分に腐熟させたものは、肥料供給量は少なくなるが、土づくり効果が期待できるようになる。

ウ 鶏ふん

鶏ふんは、肥料的効果が高く、化学肥料に近い使い方ができる。その反面、土づくり効果はほとんど期待できない。

鶏ふんに含まれる窒素の形態はほとんどが尿酸態であり、アンモニア態窒素が少ないと言われている。この他の易分解性成分も多いため、施用後すぐに作物の根にふれると障害を与えることがある。また、炭酸ガス発生量も多いことから、野菜等で生ふんや乾燥鶏ふんを用いる場合は播種や定植の1か月前に施すようにする。

鶏ふんは、製造元によって窒素成分等の成分量が異なる。例えば、採卵鶏ではカルシウムやリン酸の給与量が多いため、鶏ふん中の成分濃度が高めになっている。使用にあたっては製品の成分量を確認する。

②発酵鶏ふん及び発酵豚ふん

発酵鶏ふんや発酵豚ふんは、鶏ふんや豚ふんなどに敷料などをほとんど与えないで堆積腐熟させたものである。これらは、土壌に施用すると分解が比較的早く、多量の窒素が発現する。

これらの有機物中の窒素の肥効は化学肥料に対して70%前後であるため、施肥にあたっては、この有効窒素分を施肥成分量として計算する。また、リン酸（肥効は化学肥料に対し70%）、カリウム（同90%）も含まれるので、これらも施肥成分量として計算する。

発酵鶏ふんの窒素成分量は、製品により1.9~5.4%の幅があることが確認されている

(2005年、北海道立上川農業試験場)。使用にあたっては、製品の成分量を確認して施肥設計を立てるようにする。

(5) 緑肥作物(地力増進作物)の利用

緑肥作物(レンゲやヘアリーベッチ等)を栽培し、圃場にすき込むことにより窒素肥料等の節減が可能である。主な緑肥作物の特性は表6のとおりである。

表6 主な緑肥作物の特性(石川農研)

作物名	生産量(乾物) (kg/10a)	C/N比*1	養分吸収量(kg/10a)			有効成分量(kg/10a)*2		
			窒素	リン酸	カリウム	窒素	リン酸	カリウム
セスバニア	1100	20.7	23.2	5.6	21.9	4.6	3.4	19.7
青刈大豆	700	19.2	11.0	2.9	14.4	3.3	1.7	13.0
アカクロバ	300	17.5	8.0	2.1	10.7	2.4	1.3	9.6
マリーゴールド	1000	13.8	36.9	8.5	45.7	14.8	5.1	41.1
ソルガム	1000	63.8	8.6	6.9	43.1	0.0	4.1	38.8
エンバク	700	26.0	6.3	3.1	15.0	1.3	1.9	13.5
レンゲ	300	11.7	9.8	2.8	10.5	3.9	1.7	9.5
ヘアリーベッチ	600	18.0	16.0	5.0	7.0	4.8	3.0	6.3

*1 C/N比は、有機物中の炭素量(C)を窒素量(N)で割ったもの。C/N比が高いほど分解が遅れる。

*2 有効成分は、施用後1年以内に有効化される成分量

適正なすき込み量は、レンゲ、ヘアリーベッチともに生草量で1~2t/10aとされている。緑肥作物は生育の良い場合、適正量より過大な生草重となり、全量すき込むと水稻の倒伏を招く場合がある。また、圃場の還元による有機酸やガスの発生、根腐れ等の障害、いもち病の発生などにより減収することもある。そこで緑肥作物の草量の調整、すき込み時期、穂肥窒素量などにより肥効を調節する必要がある。

(6) 水稻の施肥対策

水稻栽培では、収量と収量構成要素の目標を明確にして、品質重視の米づくりを心がけ、品種、栽培法、土壌条件及び生育状況に応じて適正な施肥を行い、良質米の安定生産を図ることが大切となる。

施肥にあたっては、土壌診断の結果に基づいて各養分の過不足を判定し、それに対応した施肥設計を立てることが重要である。

① 水稻による養分吸収量

水稻はその生育の過程で、土壌中に存在する養分や施肥による養分を稲体内に吸収する。表7に乾田、湿田別に、掲示した収量での、わらと粃に分けて窒素、リン酸、カリウムの吸収量を示した。

圃場にわらをすき込めば、わらに蓄積された養分が土壌に還元されるが、粃は収穫物として圃場外へ持ち出されることになり、県内のデータによると、粃として圃場外へ持ち出される量は、リン酸4kg、カリウム3kg/10aとなる。

表7 水稲における三要素の吸収量（石川農研）

圃場 タイプ	収量 (kg/10a)	養分の吸収量 (kg/10a)					
		わら (圃場還元)			籾 (圃場外持出し)		
		窒素	リン酸	カリウム	窒素	リン酸	カリウム
乾田	568	3.7	1.7	15.4	6.5	3.5	2.6
半湿田	550	3.7	1.2	13.5	6.8	3.8	2.5

②土壌診断と施肥

土壌診断に基づき、目標基準値を下回っている場合は、リン酸、カリウムを肥料で補う。目標基準値の範囲にある場合及び肥沃な状態であれば、減肥が可能となる。施肥量を削減する場合でも、圃場から持ち出される籾の養分収奪量として10a 当たりリン酸4 kg、カリウム3 kg は施肥する必要がある。

表8 土壌中のリン酸とカリウムの含量と施肥量の目安

リン酸

有効態リン酸 (mg/100g)	基肥、追肥リン酸施肥量
10未満	施肥基準量+リン酸改良資材
10~20 [目標基準値]	施肥基準量 (4 kg/10a 以上)
20以上	〃

カリウム

交換性カリウム (mg/100g)	基肥、追肥カリウム施肥量
15未満	施肥基準量+カリウム改良資材
15~30 [目標基準値]	施肥基準量 (3 kg/10a 以上)
30以上	〃

このように籾の養分収奪量のみを補う施肥は、土壌中の養分を最低限維持するにすぎないため、できるだけ短期的な対応にとどめることが無難である。将来的にも気象変動に強い安定した米づくりのためには、土壌中養分の肥沃度を高めていくことが重要であるので、土づくりと併せ、施肥においても十分な養分供給が求められる。

追肥時期においても生育・栄養診断を行い、過剰な施肥を防止する。

併せて、P K配合を低くした低価格肥料や単肥の使用、鶏ふん等の低価格資材の利用並びに堆肥や緑肥の利用により肥料費の節減を図ることが可能である。

(参考) 大麦、大豆による吸収量

水田で作付される大麦や大豆において吸収される窒素、リン酸、カリウムの吸収量を表9に示した。

水稲と同様に、麦わらや大豆の茎枝莢を圃場にすき込めば、そこに蓄積された養分が土壤に還元されるが、子実は収穫物として圃場外へ持ち出されることになる。持ち出される量は、麦でリン酸4kg、カリウム2kg、大豆でリン酸3kg、カリウム4kgとなる。

大麦や大豆と組み合わせた水稲の輪作栽培においては、それぞれの作物への施肥量や圃場からの養分持ち出し量も考慮し、水稲の施肥を考える必要がある。前作の大麦や大豆の施肥量が少ない場合、圃場へ還元されるリン酸やカリウムを上回る持ち出し量となっている場合があり、後作で作付けする水稲の施肥をしっかりと行う必要がある。なお、大豆では、施肥と根粒による固定を合わせた窒素量より圃場外へ持ち出される窒素量が多いため、一層土づくりを行う必要がある。

表9 大麦及び大豆における三要素の吸収量 (石川農研)

作物	収量 (kg/10a)	養分の吸収量 (kg/10a)					
		麦わら又は茎枝葉 (圃場還元)			子実 (圃場外持出し)		
		窒素	リン酸	カリウム	窒素	リン酸	カリウム
大麦	337	1.7	0.6	4.3	5.9	3.2	1.3
大豆	160	0.8	0.2	1.8	10.8	2.5	3.1

3 土づくりの必要性和改良対策

～収量品質の安定した米づくりを行うために～

長期的な視点に立ち、将来にわたって気象変動に強い高品質な作物の安定生産を行うためには、土づくりにより土壌の物理的性質、化学的性質、生物的性質を改善し、養分供給力を高めること等が重要である。

特に地力の低い乾田地帯では施肥窒素に依存しがちとなり、その結果、米のタンパク含有率が高まる等、食味低下に繋がる懸念がある。また作土の浅層化や土壌養分の欠乏が稲の根張り不良や登熟不良をもたらすことになる。

なお、施肥や土壌改良にあたっては、作物にとって必要以上の施肥はもちろんのこと、例えば家畜ふん堆肥のように比較的養分含量の多い有機物の過剰施用は過度の養分蓄積をもたらし、作物生産を不安定にするだけでなく環境汚染につながることになる。そのため、施肥基準や施用基準を遵守しつつ土づくりを行い、定期的な土壌診断によって土壌の状態をチェックすることで持続的な作物生産が可能になる。

(1) 土づくりの必要性

①地力とは？

圃場が異なると作物の収量が異なることが認められる。これは「作物の立地として役立ち、その収穫を生み出す土壌の能力（土壌の作物生産能力）」が異なっているためである。この土壌の作物生産能力を一般に地力と呼んでいる。地力は図14のとおりで、各種の土壌の化学的性質、物理的性質、生物的性質の総合されたものである。

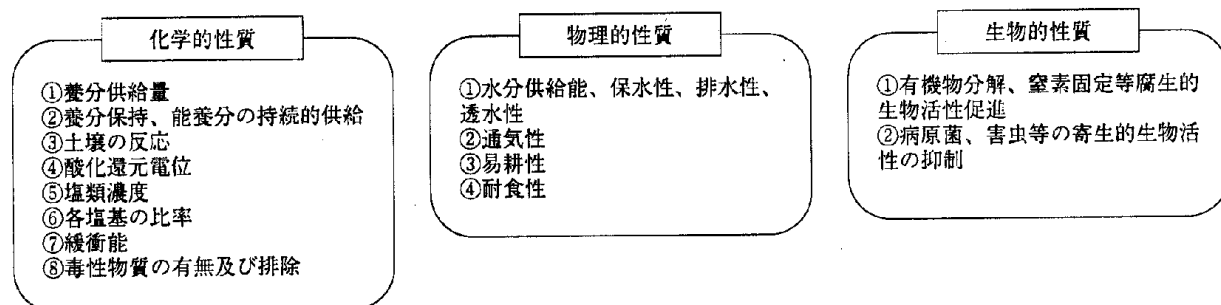


図14 地力に含まれる各性質の内容

地力の高い土地であっても、維持管理の良否によって長期的には作物の生産量の増減が変化してくる。これは地力が変化した結果であり、地力は安定不変なものではない。

②地力の要因と土づくり

近年の水稻作において一定の収量をあげていることは、化学肥料に依存している部分が多く、化学肥料に依存しすぎることによって、結果として気象変動等による悪影響を受けやすく、一歩間違えると減収につながりやすいばかりか、米の品質、食味にまで悪影響を及ぼすことになる。

土壌肥料面からの作物の安定多収の条件を整理すると図15のとおりで、養分の適正な供給のためには、土壌肥沃度の向上、養分保持能の増大、根系活動範囲の拡大が、また健全な根の発達のためには、土壌の団粒化、酸素の供給、有害物質の生成抑制排除が必要である。

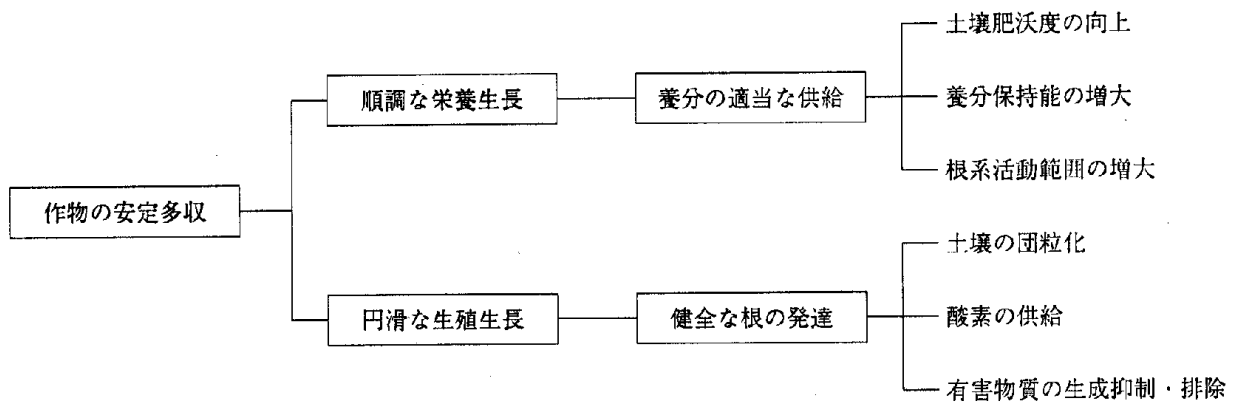


図15 土壤肥料面からの作物安定多収の条件

作物の安定多収の条件を満たす土づくりとして地力培養を考える場合には、土壤への化学肥料の安易な施用だけでなく、地力を構成する要因を十分に検討し、不十分な要因について補完し、また阻害している物質を排除するように努める必要がある。

地力要因とその維持増強手段との関係は表10のとおりで、有機物や土づくり肥料のほかに深耕、土壤類型に応じた用排水、客土の土壤改良、輪作等による合理的な土地利用、肥培管理の適正化、家畜ふん等各種地力培養資源の有効利用等を総合的に結合して調和のとれた土づくりに励むことが必要である。

表10 地力要因と維持手段

地力要因		維持手段					
		有機物(堆きゅう肥、作物残さ、緑肥)	輪作	客土・深耕	水管理(かん水、排水、湛水)	改良資材(石灰、ケイカル、ようりんなど)	化学肥料
化学性	①養分の供給量	○		○	○	○	○
	②養分の緩慢かつ持続的供給	○		○	○	○	○
	③土壤反応、酸化還元電位、塩類濃度の緩衝能	○		○	○	○	○
	④毒性物質の除去	○			○		
物理性	①水分供給能、浸潤、排水性、透水性	○		○	○		
	②通気性	○		○	○		
	③易耕性	○		○	○		
	④耐食性	○	○				
生物性	①腐生的生物活性促進(有機物分解、窒素固定など)	○	○		○	○	
	②寄生的生物活性の抑制(病原菌、害虫の多発など)	○	○		○		

(2) 水田土壌の改良目標

本県の水田土壌の改良目標値は表11のとおりである。

表11 水田土壌の改良目標値

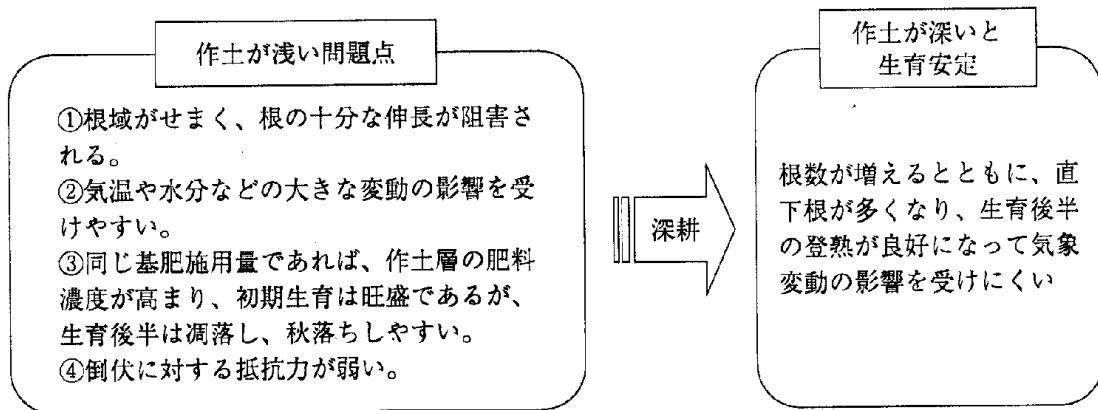
項 目	目 標 値
作 土 の 深 さ	15cm 以上
日 減 水 深	2 ~ 3 cm
pH	5.5 ~ 6.5
腐 植	3 % 以上
有 効 態 リ ン 酸	10 ~ 20mg/100g
交 換 性 カ リ ウ ム	15 ~ 30mg/100g
有 効 態 ケ イ 酸	15mg/100g 以上

(3) 改良対策

①作土深

耕起は、現在主としてロータリー耕が行われており、しかも耕起作業のスピード化に伴って浅層化している。作土が浅い場合、初期生育は比較的順調であっても、生育後半は根の伸長が抑制され、また養水分の供給が低下し、作物生産が阻害されることになる。

作土深と水稻収量との間には、図16に示すように密接な関係が認められ、作土の深い水田ほど多収を示している。表12のように、深耕試験の結果では、増収となる事例が多く、特に深耕と同時に堆きゅう肥や土づくり肥料を施用するとさらに効果が大きい。



安定多収のため、作土深は15cm 以上を目標として耕起を行う。

ロータリー耕による深耕は、トラクタの作業速度を落とし、ロータリーの回転数も低速回転にする。ディスク耕は土壌水分が大きいとスリップが大きくなるので、田面が乾いた状態で行う。

深耕は毎年少しずつ深くする。一度に深耕すると下層の不良土壌が作土に混入するので注意する。なお、1年で目標の深さに深耕した場合、一般に基肥の施肥量を10%程度増やす。

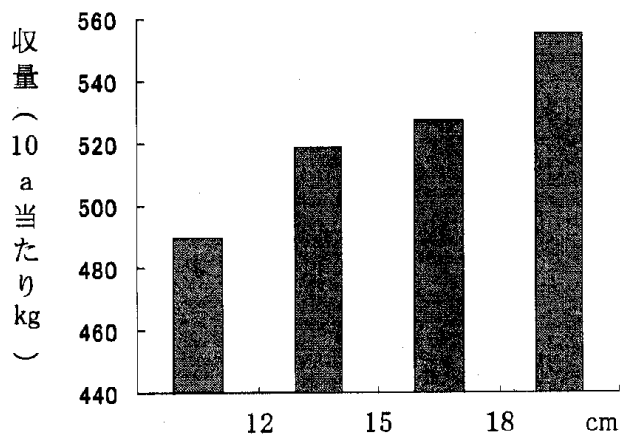


図16 作土深別収量 (石川農研)

表12 深耕による水稻の増収効果 (石川農研)

試験地	耕起	精玄米重		備考
		単収(kg/10a)	指数 (%)	
野々市 (59年)	普通耕	598	100	品種：加賀ひかり 深耕区は、深耕+牛ふん1.5t、7年連用
	深耕	663	111	
羽咋 (59年)	普通耕	599	100	品種：コシヒカリ 深耕区は、59年初年目、+ようりん施用
	深耕	634	107	
農試場内 (60年)	普通耕	648	100	品種：コシヒカリ 深耕区は、深耕+牛ふん1.5t、2年連用
	深耕	680	105	

②排水

水稻栽培における湛水期間中の浸透量は、日減水深20~30mmが望ましい。この程度の透水条件であれば、地力窒素が適度に放出され、養水分の損失も小さく、しかも根も健全に保たれる。

古くから「稲づくりは、根づくり」と言われるほど根が重要視されてきた。透水性が悪い強グライ土(湿田)では、土壌が還元状態になりやすく、作物に有害なガスの発生や酸素の不足により、根腐れ等の問題を起こす。排水改良対策としては、暗きよの施工や排水路の整備等による乾田化が重要であるが、営農排水対策として、溝切りによる中干しのや間断かんがいの徹底も必要である。

③有機物の施用

土づくりで最も必要とする対策は、土壌中の有機物含量(腐植)を高めることである。土壌中の腐植含量は、堆きゅう肥施用量の減少や乾田化に伴う有機物の分解・消耗が著しく経年的に減少しており、腐植含量の低下は地力の低下に結びつく。

堆きゅう肥や稲わら等の有機物施用の効果は、表13に示すとおり土壌中の腐植含量を高

め、土壌の保水性や通気性を良くする。また、土壌中の養分が高まり肥効の持続性が発現し、根群の発達が旺盛となり、異常気象などによる作柄不良年における生育安定の効果が大きい。これらの効果は長期間の連用によって発現する。堆きゅう肥や稲わら等を連用して地力の維持増進に努め、腐植含量3%以上を確保する必要がある。

稲わらは、表14に示すように堆肥と同様、あらゆる養分の含まれた緩効性肥料であり、堆肥並みの効果が期待できる。稲わらの施用にあたっては、土壌中での腐熟促進のため遅くとも10月中旬までに、土づくり肥料の施用と併用し鋤き込むことが望ましい。

特に、半湿田や湿田では排水に努めるとともに、腐熟促進のため、土づくり肥料のほか、石灰窒素を散布して鋤き込む。

水田の乾田化や畑地利用を行った場合、土壌 pH の矯正や酸素供給量の増加などで微生物の活動が活発となって土壌有機物の分解が促進され、土壌からの窒素供給力が低下するので、有機物の施用により地力の維持増進に努める必要がある。

表13 有機物連用による地力増進効果 (石川農研)

(乾土100g)

試験区	孔隙率 (%)	仮比重	pH	腐植 (%)	全窒素 (%)	交換容量 (me/100g)	可給態成分(mg)	
							窒素	リン酸
対 照 区	57.4	1.11	5.6	2.59	0.14	11.0	17.9	19.3
稲 わ ら 区	58.7	1.09	5.6	2.83	0.15	11.5	20.1	20.8
堆きゅう肥区	61.1	1.00	5.6	3.78	0.19	12.6	24.6	25.6

(注) 野々市試験地 (細粒灰色低地土) 有機物17年連用

表14 稲わらの成分

成 分	稲わらの中の成分 (風乾物) (%)	堆肥中の成分 (現 物) (%)	稲わら600kg 中の成分 (kg)	堆肥1t 中の成分 (kg)
窒 素	0.57	0.39	3.5	3.9
リ ン 酸	0.17	0.19	1.0	1.9
カリウム	1.83	0.70	11.3	7.0
石 灰	0.51	0.45	3.1	4.5
苦 土	0.41	0.13	0.8	1.3
ケ イ 酸	11.30	4.50	67.8	45.0
炭 素	18.9	7.9	—	—
炭 素 率	71.4	20.3	—	—

④ pH

水稻栽培においては pH5.5～6.5が適している。

水稻は畑作物と異なり pH 適応性が広く、特殊な強酸性土壌を除いて特に問題は少ないと考えられるが、水田の高度利用、転作などで麦類や大豆、野菜などを導入する場合は石灰質資材の施用により土壌 pH を6.0～6.5に矯正する必要がある。

⑤有効態リン酸

リン酸は、植物体内の光合成や呼吸作用に深く関与し、植物の成長、根の伸長、開花結実を促進する重要な成分である。このため、リン酸が不足すると水稻は徒長気味となり、出穂が遅れるばかりでなく、穂揃いも悪くなって青米や不稔粒が増加する。

また、養分吸収は低温になると衰えるものが多いが、特にリン酸は吸収の低下が著しく、初期分げつの発生が遅延するなど初期生育が緩慢となる。

リン酸は土壌中の鉄、アルミニウム、石灰と結合して土壌中を移動しにくいいため、圃場整備などにより心土が混入されたり表面に露出した場合には有効態リン酸が低下する。また、有効態リン酸と収量の間には図17のような関連が見られ、リン酸含量の多い土壌ほど収量が高い傾向があり、玄米千粒重の向上する。

初期生育の促進や登熟向上による安定多収のためには、土壌中の有効態リン酸含量を20mg/100g程度に高めることが望ましい。

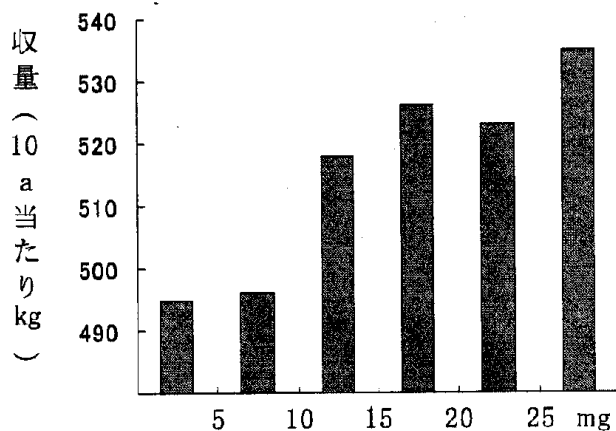


図17 有効態リン酸と収量 (石川農研)

表15 有効態リン含有量別リン酸質資材施用量

(10a 当たり)

資材名	土壌中の有効態リン酸含有量 (100g 中)			
	5 mg 以下	5～10	10～15	15～20
ようりん	100kg	75kg	50kg	25kg
重焼りん	60kg	45kg	30kg	15kg

⑥交換性カリウム

カリウムは炭水化物の蓄積量を高め、また細胞膜を厚くして茎や葉を強健にする働きがある。欠乏すると作物の熟期が遅れ、一方、過剰施用は土壤塩類濃度が上昇し、石灰や苦土の吸収阻害により品質・収量が不安定となる。

土壤中のカリウムは溶脱・流亡や作物による吸収により土壤から損失するので、加里肥料の分施や緩効性肥料の活用が望ましい。また、きめ細かな土壤診断により、土100g当たり15~30mgを目標に、加里肥料の施肥量を加減することが重要である。

⑦有効態ケイ酸

水稻はケイ酸植物とも言われ、多量のケイ酸を吸収するのが特徴で、10a当たり600kgの収量の水稲は、1作期間に約100kgのケイ酸を吸収する。土壤中のケイ酸含量が減少すると、稔実歩合、耐倒伏性、耐病性などが低下し、生育や収量が不安定になる。

土壤中の有効態ケイ酸含量を15mg/100g以上を目標にケイ酸質資材を施用し、土壤からのケイ酸供給量を維持していくことが重要である。

表16 有効態ケイ酸含量別ケイ酸質資材施用量

(10a当たり)

資材名	土壤中の有効態ケイ酸含有量 (100g 中)			
	10mg 以下	10~20	20~30	30~50
ケイカル	250kg	200kg	150kg	100kg