

## 5. ケイカル

Q-1

ケイカルの種類と含有成分を教えてください。

A-1

けい酸は作物の生育に有用な成分（有用元素）であり、とくに水稲などのイネ科の作物には大量に必要です。

けい酸の施用で水稲が増収したという試験成績は大正初期に発表され、とりわけ秋落ち水田の改良にけい酸施用の効果が高いことが確認されてから、けい酸を多量に含む鉍さいの肥料化についての研究が進みました。

ケイカルは「鉍さいけい酸質肥料」として、肥料取締法において昭和30年8月に認可され、可溶性けい酸が10%以上と定められています。ただし、可溶性けい酸が20%未満のものについては、可溶性石灰を40%以上含有する必要があります。

ケイカルの原料は、鉄や合金鉄、その他の金属をつくる時の鉍さいです。現在、ケイカルとして流通しているものは、可溶性けい酸20%以上のものがほとんどであり、このほか、鉄、銅、亜鉛、モリブデン、マンガンなどの微量要素が含まれています。

原料鉍さいはその種類によって含有成分量が表-1のように異なります。

表-1 鉍さいの種類と組成(%)

	けい酸(SiO <sub>2</sub> )	石灰(CaO)	苦土(MgO)	マンガン(MnO)
製鉄鉍さい	30~41	35~45	3~7	0.3~1.7
普通鋼鉍さい	9~22	37~65	0.6~1.5	0.5~10.0
ステンレス鉍さい	23~28	43~48	10~15	0.5~1.0
シリコマンガ鉍さい	30~40	30~45	1~4	6~10.0

## 1. 原料鉍さいの製造方法

原料鉍さいは冷却の仕方により、その形状および性質が異なりますが、現在はケイカルの原料として主に水砕鉍さいが使用されています。

### (1) 水砕鉍さい

熔融した鉍さいを、炉から出した時にジェット水流に注入すると、水中で急激に冷却され、同時に細かく粉碎されます。この水砕されたものを水砕品といい、溶けやすいガラス質になっています。

### (2) 徐冷鉍さい

熔融した鉍さいを炉から出してそのまま徐々に冷却したものを徐冷品といい、結晶質になっております。

## 2. ケイカル製品の種類

ケイカル製品は粒度や形状により図-1のように分類され、流通しております。すなわち、上述の水砕品は水分を含んでいるため乾燥した後、2mmの網篩を全通したものが「砂状ケイカル」として流通しています。

また、徐冷品の場合は2mmの網篩を全通し、かつ600マイクロメートルの網篩を60%以上通過したものが「砂状ケイカル」として流通しています。

さらに砂状ケイカルを粉碎した「粉状ケイカル」、そして、この粉状ケイカルにバインダー（造粒材）を加えて造粒した「粒状ケイカル」があります。

鉍さいが市販のケイカルになるまでの工程のあらまは、図-1のとおりです。

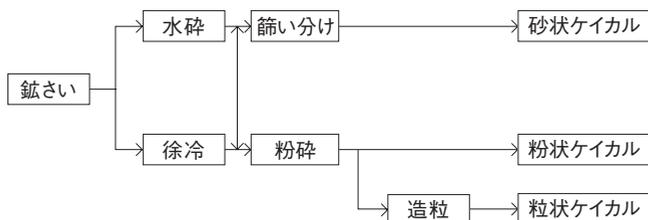


図-1 ケイカルの製造工程

Q-2

ケイカルは水稲に対してどんな働きをするのですか？

A-2

水稲に対するケイカルの役割、効果はいろいろありますが、その主なものを要約しますとつぎのとおりです。

- ① 葉の表層部に固いケイ化細胞をつくりますので、水分のむだな蒸散を抑えるとともに、病害虫に対する抵抗力が強まります。
- ② 維管束が太くなって稈が丈夫になりますので、倒伏に強くなります。
- ③ もみがらのけい酸含有率が高まりますので、斑点米の原因となるカメムシの食害を受けにくくなります。
- ④ 根の活力が旺盛になるとともに、葉が直立して受光態勢が良くなりますので、登熟が向上し、千粒重や登熟歩合が高まって米の品質が良くなります。
- ⑤ 土壌の酸性化を改良するとともに、石灰、苦土や微量元素などの栄養成分を供給しますので、水稲が健全に育ちます。

図-2はケイカルの効果をあらわしたものです。

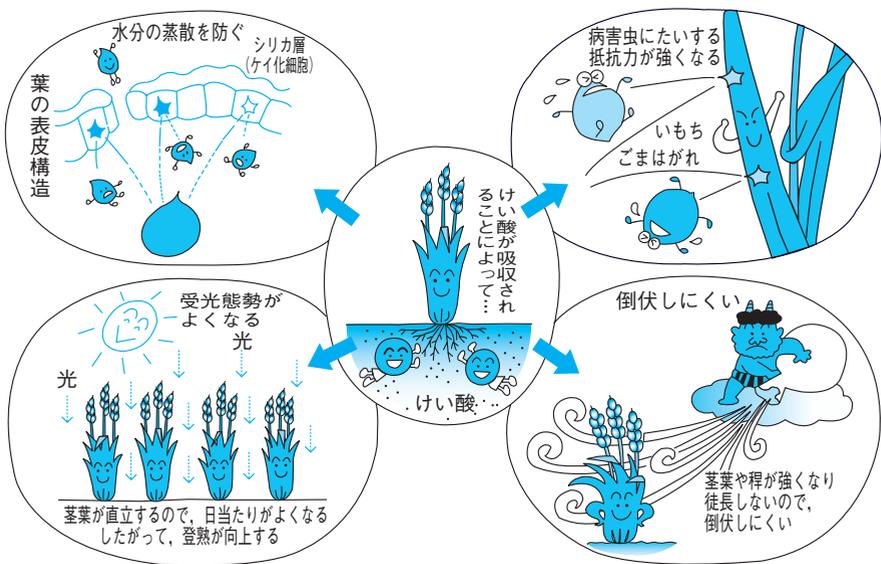


図-2 ケイカルの効果

Q-3

ケイカルは水稻の病害虫や倒伏に対する抵抗力を強くするといわれていますが、どうしてですか？

A-3

ケイカルのけい酸は水稻体内に吸収されますと、葉の表皮組織の一番外側にあるクチクラ層の下に集積して、けい酸だけで組織された固いシリカ層と、外側の細胞膜の間隙がけい酸でみたされたシリカセルローズ膜をつくります (図-3)。

このクチクラ・シリカ二重層を通称ケイ化細胞といいます。ケイ化細胞が発達しますと、①異常高温時に葉の表皮組織からの水の蒸散 (クチクラ蒸散) を抑えるとともに、②葉が直立し受光態勢が良くなって登熟が向上し、③ニカメイチュウなどの食害を受けにくくなったり (図-4)、④いもち病などの病原菌の菌糸が侵入しにくくなって発病度が減少します (図-5)。

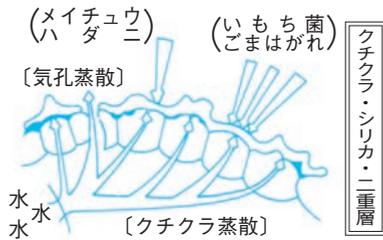


図-3 水稻葉の表皮組織におけるけい酸の意義を示す模式図

表-2 ケイカル施用によるケイ化細胞数の増加 (秋田県農試 1986年)

場 所	区 名	けい酸含有率	ケイ化細胞数 (個/mm <sup>2</sup> )
秋 田 県 農 試 圃 場	無 施 用	6.37	17.4
	ケ イ カ ル	7.14	38.5
	無 施 用	6.75	14.3
	ケ イ カ ル	7.93	31.3
	無 施 用	7.04	13.4
	ケ イ カ ル	7.79	35.1
中 仙 町	無 施 用	5.64	18.2
	ケ イ カ ル	7.66	42.5
天 王 寺	無 施 用	2.59	0.0
	ケ イ カ ル	4.13	5.9

また、けい酸を多く吸収した水稻は、根の活力が旺盛になるとともに、稈が太くなって丈夫になるため倒伏に対する抵抗性が強くなります（図-6）。コシヒカリなどのように良食味米品種には倒伏に弱いものが多いので、ケイカル施用による効果が顕著に現れます。

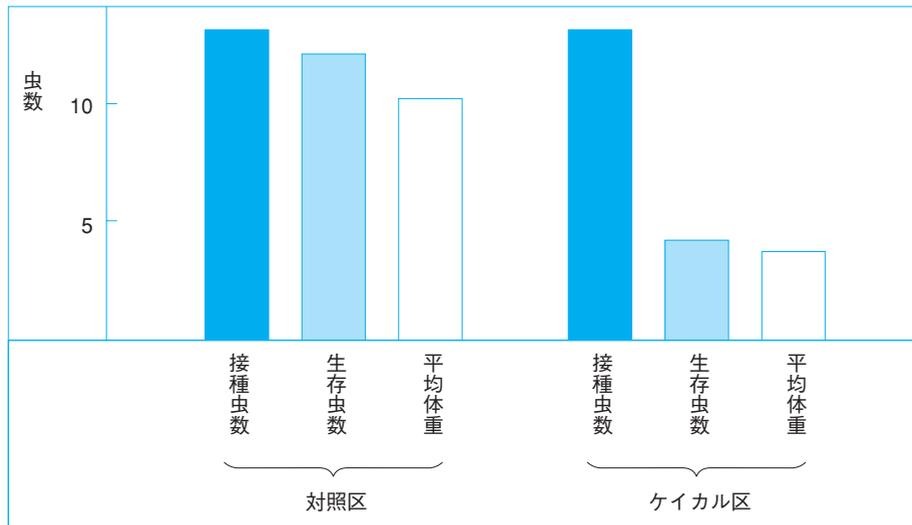


図-4 ケイカルとニカメイチュウとの関係 (山梨大学 1958年)  
(接種した虫がどれだけ生き残ったか)

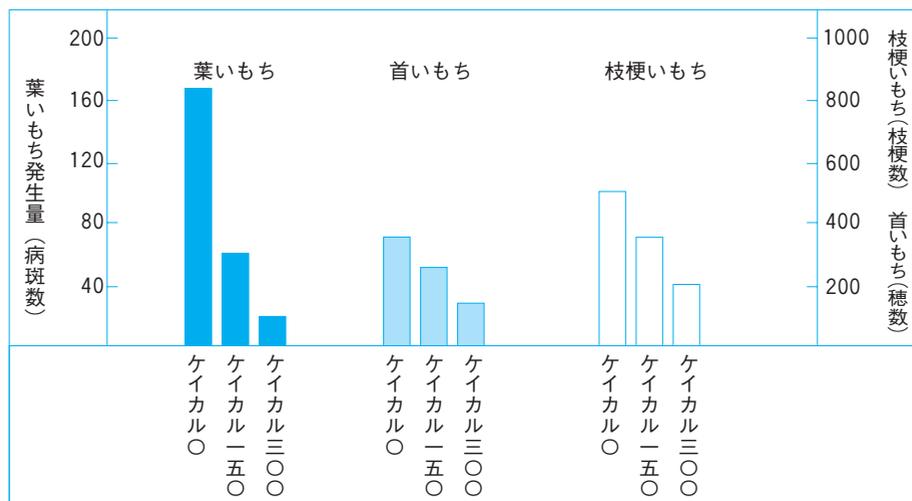


図-5 ケイカルといもち病との関係 (東北農試 1986年)

さらに水稻は高温かつ日照不足に遭遇したり、窒素を過剰に吸収すると軟弱になり、倒伏しやすく、病害虫による被害を受けやすくなります。けい酸は窒素の過剰吸収を抑える働きのあることが明らかにされていますが、ケイカルを施用して稲体のけい酸含有率（けい酸窒素比、 $\text{SiO}_2/\text{N}$ ）を高めておくと、いもち病にかかりにくいことが確認されています（図-7）。

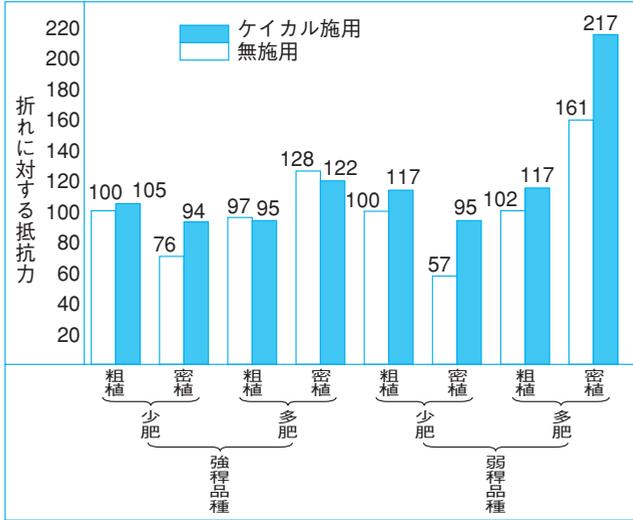


図-6 ケイカルの施用で稲の稈が折れにくくなった（岡山大学 1957年）

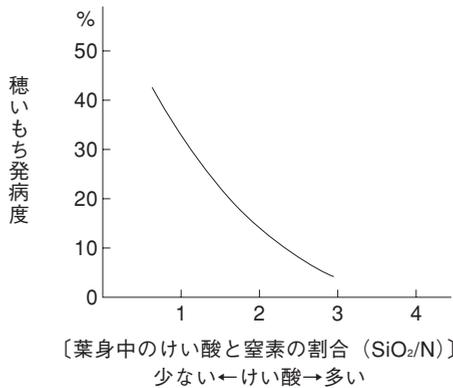


図-7 水稻の $\text{SiO}_2/\text{N}$ と穂いもち発病との関係（新潟県村上 1979年）

Q-4

ケイカルは稲の登熟を向上し、米の品質をよくするといわれていますが、どうしてですか？

A-4

けい酸をたくさん吸収した水稻は、根の活力が旺盛になって丈夫に育つとともに、葉が直立して受光態勢が良くなるため光合成が盛んになり、登熟が向上します。

また、根が丈夫になり、生育後期まで根の活力が保たれると、下葉の枯れ上がりが少なく、秋落ちや生理的障害の根腐れを防ぎ、登熟が向上します。

登熟が向上すると、収量構成要素の登熟歩合や千粒重が高まり、外観品質も良くなって増収するとともに、米粒中のたんぱく質含量も低下して食味品質が良くなります（図-8）。

表-3は珪酸石灰肥料研究会の成績の一部です。

表-3 ケイカル施用により登熟歩合、千粒重が向上（1987年）

区名	福島県農試		広島県農試		鹿児島県農試	
	登熟歩合(%)	千粒重(g)	登熟歩合(%)	千粒重(g)	登熟歩合(%)	千粒重(g)
無施用区	70.7	19.3	76.3	24.0	84.4	22.3
ケイカル連用区	72.6	19.5	79.1	23.9	87.7	22.4
隔年施用区	73.9	19.8	77.0	24.2	86.6	22.2

注) ケイカル施用量150kg/10a

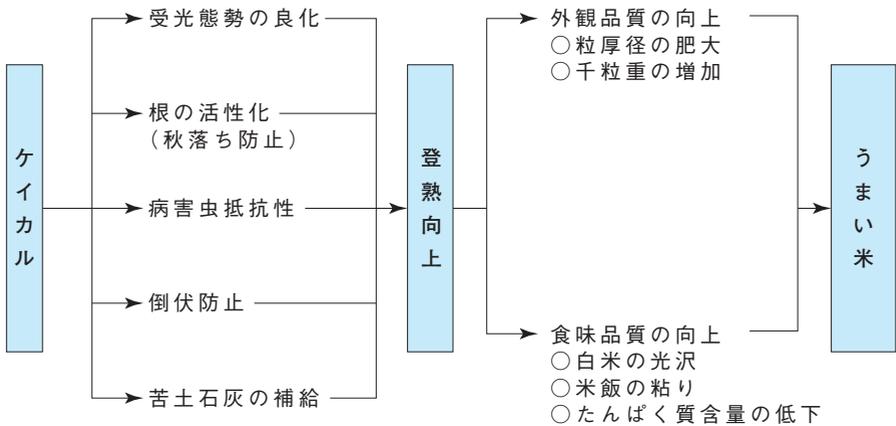


図-8 うまい米とケイカルの関係

## Q-5

### ケイカルの施用で乳白米を減らすことができますか？

## A-5

乳白米などの未熟粒は1等米比率を低下させるので、極力、避けたいものです。生育前半期に高温傾向で推移した場合、水稻の生育が旺盛となり、過剰分けつや籾数過多を招くことから、乳白米発生の一因と考えられています。また、出穂後に異常高温に遭遇した場合も、呼吸によるデンプンの消耗や水分ストレスによるデンプン生成の減少が乳白米発生の要因とされています。

乳白米の発生を減らす対策として、中干しの徹底、施肥基準の見直しによる茎数・籾数の適正化、出穂後の早期落水を控えた間断灌漑の励行などが試みられています。

ケイカルは、生育後期まで根の活力を保ち、登熟期の光合成能力を向上させてデンプン生産量を高めるとともに、水分ストレスを緩和して籾へのデンプン転流を促すことから、乳白米を減らす効果があります。

このように、乳白米の発生防止対策とケイカルの働きは相応しております。

図-9は、秋田県農業試験場における土づくり肥料（熔燐ケイカル混合品）の施用試験ですが、施用量が多いほど乳白米の発生が明らかに減少しています。

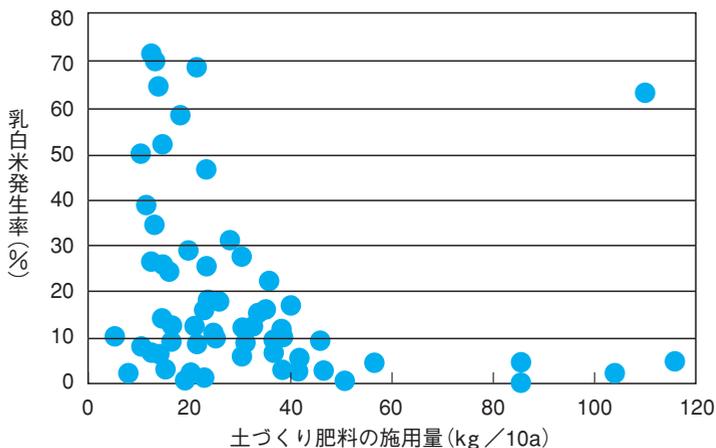


図-9 土づくり肥料の施用量と乳白米発生率との関係

Q-6

水稲にはどれくらいのけい酸が必要ですか？

A-6

水稲は肥料の三要素である窒素，りん酸，加里よりもはるかに多量のけい酸を吸収します。

葉身のけい酸含有率は，栽培方法や土壌条件によって異なりますが，健全な葉身では10%以上，多いものでは20%近い例もあります。

葉身のけい酸含有率が10%（とりわけ5%）を下回ると稲体が軟弱になりやすく，病虫害，倒伏，異常気象（冷害，高温障害）などに対する抵抗力が弱くなります。

また，葉が下垂して受光態勢が悪くなるため光合成能が低下し，登熟が不良となって収量が低く，玄米品質も悪くなります。

表-4は10a当たり1t以上の収量をあげた北原氏の水田と，全国14県の農業試験場の標準栽培水田の10a当たりの肥料成分吸収量の平均を比較したものです。

北原氏の場合は205kg，農業試験場の平均でも86kgと多量のけい酸を吸収していますが，この吸収量を玄米収量100kg当たりに換算しますと，両者とも20kgのけい酸吸収量となり，この値は玄米収量の20%に相当します。

したがって，玄米収量500～600kgの水田では，けい酸が100～120kg必要となります。

実際の水田におけるけい酸の収支については，土壌や灌漑水から供給される量，浸透水に伴って水田から流亡する量などを考慮する必要があります。このことについては，Q-7「ケイカルはどれくらい施用すればよいのでしょうか？」を参照してください。

表-4 玄米収量と養分吸収量との関係

		窒素	りん酸	加里	石灰	マンガン	けい酸	玄米収量
10a当たり養分吸収量と玄米収量(kg)	農試 北原氏	9.1	4.6	14.2	3.2	0.4	85.5	428
		19.5	10.0	33.3	6.4	1.0	204.8	1,024
玄米100kg当たりの養分吸収量(kg)	農試 北原氏	2.1	1.1	3.3	0.7	0.1	20.0	
		1.9	1.0	3.3	0.6	0.1	20.0	

\* 北原氏は1958年の米作日本一

Q-7

ケイカルはどれくらい施用すればよいのでしょうか？

A-7

水稲は「けい酸植物」といわれるように大量のけい酸を必要とし、玄米100kgを生産するのに20kgものけい酸が必要です（A-6参照）。

すなわち、10a当たりの収量目標を600kgとすると、120kgのけい酸が必要となります。

ケイカルの10a当たり施用量を試算しますと、

①水田から持ち出されるけい酸量(156kg)

米の生産に必要なけい酸の吸収量 = 120kg  
 浸透水に伴って流亡する量 = 36kg

②土壌などから供給されるけい酸量 (83kg～128kg)

土壌から供給される量 = 砂質土 5 kg～粘質土50kg  
 灌漑水から供給される量 = 28kg  
 (灌漑水のけい酸含量20mg/ℓ, 10a当たりの灌漑水量1,400t)

稲わら, 堆肥などから供給される量 = 50kg

③不足するけい酸量(28kg～73kg)

砂質土の場合 156kg - 83kg = 73kg  
 粘質土の場合 156kg - 128kg = 28kg

このけい酸不足量を、30%のけい酸を含有するケイカル施用量に換算しますと、次のように計算されます。

$$(28\text{kg} \sim 73\text{kg}) \div 0.3 = \text{約}100\text{kg}(\text{粘質土}) \sim 200\text{kg}(\text{砂質土})$$

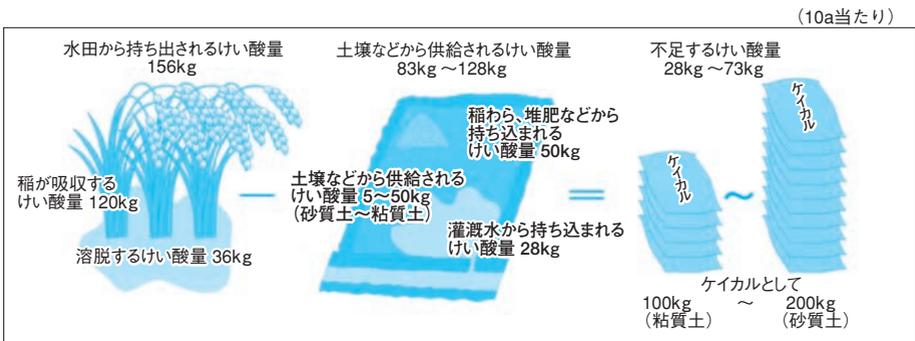


図-10 水稲にはこんなにケイカルが必要 (珪酸石灰肥料協会パンフレットより)

Q-8

ケイカルはいつ施用したらよいですか？

A-8

水稲は「けい酸植物」といわれるとおり、生育の初期から後期まで、けい酸を好んで吸収します。とりわけ、幼穂形成期以降に大量のけい酸を吸収し、登熟期の健全な葉身のけい酸含有率はおおむね10%を超えます。このように水稲のけい酸吸収量は他の化学肥料に比べて大幅に多いことから、収穫後の秋から春先にかけての農閑期に、ケイカルの機械散布を奨励しております。

ケイカルに含まれる可溶性けい酸は、水にすぐには溶けず、土の中で有機物が分解して生じる有機酸や水稲の根から出る根酸に溶けて徐々に根から吸収されますので、ケイカルは持続的に効果を発揮します。

したがって、秋散布してもけい酸成分が流亡することはありません。秋散布の場合、生わらと同時にすき込むと、ケイカルに含まれるアルカリ分による生わらの腐熟促進効果もあります。ただし、このアルカリ作用があるため、10a当たり200kg以上を施用する場合は田植直前の散布を避けた方が望ましいです。

一方、上述しましたように、水稲がけい酸を大量かつ急激に必要なとする節間伸長期に向けて、すなわち、最高分げつ期から幼穂形成期にかけての追肥も効果的です。次のQ-9「ケイカルの追肥効果はありますか？」も参照してください。

表-5はケイカルの春施用と秋施用の試験結果を示したもので、どちらも同等の効果が見られます。

表-5 ケイカル施用時期試験 (福井県農試・宮松 1975年)

処 理	大野試験地		坂井試験地		小浜試験地		3 地区平均		
	玄米重 (kg/a)	収量比 (%)	玄米重 (kg/a)	収量比 (%)	玄米重 (kg/a)	収量比 (%)	玄米重 (kg/a)	収量比 (%)	稲わら SiO <sub>2</sub> (%)
無 施 用	50.5	100	55.5	100	44.6	100	50.2	100	9.3
春 施 用	49.4	98	58.2	105	48.4	109	52.2	104	10.9
秋施用・秋耕	52.9	105	58.8	106	50.0	112	53.9	107	11.4
秋施用・春耕	50.6	100	58.9	106	47.6	107	52.4	104	10.9

Q-9

ケイカルの追肥効果はありますか？

A-9

水稻の養分吸収の時期は肥料成分によって異なりますが、けい酸は幼穂形成期から出穂期にかけてもっとも多く吸収されます。けい酸が生育後期に多く吸収されるということが、登熟の向上に大きく影響するわけですが、生育初期にけい酸が不足すると根の発達が悪くなります。そのため、ケイカルは基肥として施用するのが原則です。

しかし、基肥を施用できなかった時、基肥の量が少なかった時、養分の流亡の激しい水田などでは、幼穂形成期の前にケイカルを追肥しますと登熟が向上し、いっそうの効果があります。

表-6はケイカルの施用時期別の成績を比較したものです。

この試験成績をみると、ケイカル施用は基肥が効果的ですが、最高分けつ期頃の追肥も収量、品質を高めるといことがわかります。

追肥の施用量は60kg/10a程度で十分です。

表-6 水稻に対するケイカルの施用時期試験 (山形県農試庄内支場)

	ケイカル 施用時期	施肥量 (kg/10a)	精玄米収量 (kg/10a)	収量比 (%)	千粒重 (g)	精粉数 (x100/m <sup>2</sup> )	けい酸吸収 (kg/10a)	良質粒率 (%)
平成11年度	対 照 (無施用)	0	557	100	22.0	348	97	74.3
	基 肥 (4/30)	150	592	106	22.2	355	108	79.4
	最分期 (6/30)	60	599	108	22.3	350	107	81.5
	幼形期 (7/15)	60	579	104	22.2	352	103	80.1
平成12年度	対 照 (無施用)	0	584	100	22.9	317	94	87.9
	基 肥 (4/30)	150	616	105	22.5	337	106	87.4
	最分期 (6/30)	60	625	107	22.6	332	103	88.0
	幼形期 (7/19)	60	621	106	22.5	325	103	86.2
平成13年度	対 照 (無施用)	0	580	100	22.2	316	99	83.1
	基 肥 (4/26)	150	588	101	22.3	318	108	85.0
	最分期 (—)	—	—	—	—	—	—	—
	幼形期 (7/13)	60	593	102	22.4	321	105	86.2
3カ年平均	対 照	0	574	100	22.4	327	97	81.8
	基 肥	150	599	104	22.3	337	107	83.9
	最分期追肥	60	612	108	22.6	341	105	84.8
	幼形期追肥	60	598	104	22.4	333	104	84.2

良質粒率判定：RS-2000

Q-10

転換畑の復元田にはケイカルの施用は必要でしょうか？

A-10

転換畑から水田に復元する場合は、必ずケイカルを施用してください。ある期間を畑として利用した転換畑を水田に復元する場合は、土壌中に残留している地力窒素が急激に発現し、窒素の過剰吸収を招く恐れがあります。

ケイカルはA-3にも述べましたとおり、窒素の過剰吸収を抑え、病気や倒伏に強い丈夫な稲をつくれますので、復元田における良食味米づくりには欠かせないものです。復元田の場合の施用量は、各地域に指導基準がありますので、それに従ってください。おおむね一般の水田よりは多く、200kg/10aないしそれ以上を施用することが望ましいです。

Q-11

ケイカルの畑作物に対する効果について教えてください。

A-11

ケイカルは水稻に対する抜群の効果が認められたため、現在は主として水田の土づくり肥料として使われていますが、最初は畑の土づくりに使われたくらいで、畑にもすぐれた効果があります。

畑土壌に対するケイカルの効果は、つぎのとおりです。

- ① ケイカルに含まれる石灰や苦土は緩効性ですから、土壌の酸性をゆっくり改良するとともに、作物の養分としても持続的に吸収されます。
- ② わが国の畑は火山灰土壌が多いこともあって酸性が強く、有害な活性アルミナの多い畑がたくさんあります。ケイカルのけい酸はりん酸を不溶化する活性アルミナと結びつき、りん酸の肥効を高めます。

また、畑作物にもけい酸を好んで吸収する作物があります。陸稲、麦類、とうもろこし、芝、竹、牧草などのイネ科作物、すいか、きゅうり、メロンなどのウリ類などがその例です。

けい酸はこれらの作物に吸収されて茎や葉を丈夫にし、病害虫による被害を受けにくくするとともに、根の働きを活発にするなどの効果があります。

Q-12

機械散布を進める具体的方法はどうしたらよいのでしょうか？

A-12

“米づくりの基本は土づくりから”とよくいわれます。良質米を安定生産するためには土づくりが欠かせません。

その土づくりに必要な資材の代表格はけい酸質肥料であります。その理由は、水稲が収穫期までに大量のけい酸を必要とするからです。水稲が必要とするけい酸の量については、Q-6「水稲にはどれくらいのけい酸が必要ですか？」に、けい酸質肥料としてケイカルを使用した場合の施用例がQ-7「ケイカルはどれくらい施用すればよいのでしょうか？」に述べられています。

これから、担い手の高齢化が進む状況においては、重い資材を人力で散布することが困難になるため、地域一帯における機械散布の体系化が望まれます。

すでに機械散布を実施している事例が全国に増えております。望ましい事例は地域のJAが推進母体となり、ブロードキャスターやライムソーなどの散布機械を所有している営農集団、農業生産法人、大規模経営農家、請負組織などの協力を得ながら、組織的かつ計画的に散布作業を実施しております。

具体的な推進方法として、JAは個々の農家ほ場の土壌診断結果や地域の施肥基準を参考にして、個々の水田のケイカル散布量を定めることができます。

散布量が決定すれば、次は経済効率が高くなるように散布時期や作業内容などの合意を得て、最終的に合理的な散布料金が決まることとなります。

このほか、農業機械の効率利用を目的とし、組合組織が農業機械銀行を設立している事例もあります。この場合は機械リースのほかに作業受託も実施している例があります。

参考までに、ケイカルの機械散布のメリットを列記します。

- ① 安価であるため、多量（10a当たり100～200kg）を省力散布できます。
- ② 多量である有利性を生かして、撒きむらの心配がないため作業がしやすい。
- ③ ケイカルに含まれるけい酸は持続的に分解し、流亡の恐れがないことから、収穫直後の秋から春先までの長い農閑期の中で都合のよい時に散布できます。
- ④ ケイカルにはアルカリ分が含まれていることから、稲わらや稲株など有機物の分解促進効果があります。
- ⑤ 300～1,000kg用の大型フレコン袋を利用できるため、作業の効率化とコスト低減化が図れます。