

けい酸加里肥料の育苗箱施用による 水稻の乳白粒発生軽減効果

道上伸宏*

Effect of Potassium Silicate Application in a Nursery Box
on decrease in Milky White Rice Kernel

Nobuhiro Michiue

I 緒言

島根県では1998年と1999年に、おもに平坦部で栽培された‘コシヒカリ’で、乳白粒による1等米比率の急落が深刻な問題となった。この乳白粒の発生原因については、登熟初期の高夜温、寡日照等の気象的要因や窒素施肥量の過多による穂数及びもみ数の増加が大きく影響することが報告されている(安原・月森, 2002; 月森, 2003; 農林水産省東北農業試験場, 2001; 寺島ら, 2001)。このような条件下では、総同化量に対して呼吸による同化産物の消費量が大きくなり、もみへの蓄積が妨げられるため乳白粒が増加すると考えられており、登熟期間の高温条件を回避するため、島根県では5月下旬田植えが奨励されている(島根県農林水産部, 2002)。これにより、一定の成果が得られたものの、気象の年次変化により効果にばらつきが認められる。

一方、他の要因として土壌タイプの違いや土づくり肥料の不足を指摘する調査報告がある(井上, 2003; 金田, 2007)。これらの報告は土壌の窒素肥沃度や珪カルや溶リンなど土づくり肥料の施肥量と乳白粒発生の関係を論じたもので

あるが、窒素以外の成分や土壌の物理性との関係、また、土づくり肥料の効果発現要因については明らかにされていない。

そこで、現地において土壌の断面調査及び物理性やケイ酸を含めた理化学性の分析を行い、水稻の乳白粒発生に影響を及ぼす土壌的要因について検討した。次に、これらの調査結果から、乳白粒の発生に対する土壌のケイ酸肥沃度の影響が示唆されたので、この点について調査を行うとともに、省力的なケイ酸施肥技術を検討したので報告する。

本報告を取りまとめるに当たり、島根県農業技術センター資源環境研究部長 伊藤淳次氏からは、本研究遂行上の有益な助言を頂き、更に懇切丁寧な校閲を賜った。同資源環境研究部土壌環境グループ科長 角 治夫氏には、懇切丁寧な校閲を賜った。また、現地調査を実施するに当たり、出雲農林振興センター 福田 誠氏(現 東部農林振興センター)、浜田農林振興センター 松崎友史氏(現 島根県農林水産部農畜産振興課)及び清水 恵氏(現 島根県農林水産部農業経営課)には、調査圃場の選定や土壌調査の際に多大な協力を頂いた。これらの方々に深く感謝の意を表する。

* 資源環境研究部 土壌環境グループ

II 材料及び方法

1. 土壌の理化学性が‘コシヒカリ’の乳白粒発生に及ぼす影響

1) 土壌断面調査の概要

調査地域及び地区を表1に示した。調査圃場は、同一地区内から、乳白粒の発生が少なく1等米が生産された圃場と乳白粒がおもな理由で2等以下に格付けされた圃場とを選定した。土壌断面調査は2002年11月25日、26日に県西部の浜田市2地区4圃場、那賀郡三隅町(現浜田市三隅町)2地区4圃場、那賀郡金城町(現浜田市金城町)1地区2圃場において、また県東

部では2002年12月17日に簸川郡湖陵町(現出雲市湖陵町)1地区8圃場と2003年3月13日に平田市(現出雲市)2地区11圃場で行った。また、県西部の各地区では、土壌断面調査圃場の周辺6圃場において、検土杖により作土の深さを併せて調査した。

2) 土壌の分析方法

土壌断面調査時に採取した作土及び次層土を風乾後、2mmの篩に通し次の分析に供した。可給態窒素は保温静置培養法(30℃, 28日間培養)、遊離酸化鉄は浅見・熊田法(土壌養分測定法委員会編, 1994)、交換性陽イオンのうちカルシウムとマグネシウムは原子吸光度法、カリウムは

表1 調査圃場の土壌統名とグライ層の出現位置

調査地域	調査地区名	乳白粒の ^{註1)} 発生程度	土壌統名	土性 ^{註2)}	グライ層の出現位置(cm)
県東部	平田市A	少	表層灰色グライ低地土, 細粒質, 粘質	CL	22~48 (3層)
			斑鉄型グライ低地土, 細粒質, 粘質	SiCL	15 (次層) 以下
			表層灰色グライ低地土, 細粒質, 強粘質	HC	28~43 (3層)
		多	表層灰色グライ低地土, 細粒質, 粘質	SiCL	19 (3層) 以下
			斑鉄型グライ低地土, 細粒質, 強粘質	LiC	22 (次層) 以下
			斑鉄型グライ低地土, 細粒質, 強粘質	HC	11 (次層) 以下
	平田市B	少	斑鉄型グライ低地土, 細粒質, 強粘質	HC	14 (次層) 以下
			〃	〃	0 (作土) 以下
			還元型グライ低地土, 細粒質, 粘質	LiC	0 (作土) 以下
		多	表層灰色グライ低地土, 細粒質, 粘質	CL	22 (3層) 以下
			〃	〃	21 (3層) 以下
			還元型グライ低地土, 細粒質, 強粘質	HC	32 (3層) 以下
湖陵町	少	〃	〃	16 (次層) 以下	
		〃	〃	14 (次層) 以下	
		〃	SiC	17 (次層) 以下	
	多	還元型グライ低地土, 細粒質, 強粘質	HC	37 (3層) 以下	
		還元型グライ低地土, 粗粒質, 砂質	S	0 (作土) 以下	
		還元型グライ低地土, 粗粒質, 砂質	LS	13 (次層) 以下	
県西部	浜田市A	少	斑鉄型グライ低地土, 礫質, 粘質	CL	26 (3層) 以下
		多	普通灰色低地土, 中粒質	L	無し
	浜田市B	少	還元型グライ低地土, 中粒質	SL	0 (作土) 以下
		多	還元型グライ低地土, 粗粒質, 砂質	LS	20 (次層) 以下
	三隅町A	少	表層灰色グライ低地土, 中粒質	SL	36 (3層) 以下
		多	灰色化低地水田土, 礫質, 壤質	L	無し
	三隅町B	少	表層灰色グライ低地土, 中粒質	SL	30 (3層) 以下
		多	〃	L	29 (3層) 以下
	金城町	少	斑鉄型グライ低地土, 中粒質	L	0 (作土) 以下
		多	斑鉄型グライ低地土, 細粒質, 粘質	CL	17 (次層) 以下

注1. 等級検査において1等米生産水田は少, 2等格付けの理由が主に乳白粒であった水田は多に分類。

2. おおむね25~60cmの土性を示す。土性区分は国際法による(ペドロジスト懇談会編, 1994)。

炎光法により定量した。また、可給態ケイ酸については酢酸緩衝液で浸出後、モリブデン青比色法により定量した。以上の土壌断面調査の結果及び作土中の各無機成分含有率から乳白粒の発生程度と土壌の理化学性との関係を比較検討した。

2. けい酸加里肥料の育苗箱施用が‘コシヒカリ’の苗質に及ぼす影響

1) ケイ酸の施用方法及び育苗方法

試験は島根県農業試験場（現 島根県農業技術センター）の育苗ハウスで2000年と2001年に行った。育苗には出雲グリーンエポック株式会社製の床土用培土（商品名：グリーンソイル中間地用）を、1箱当たり3kgと、同じく覆土用（商品名：グリーンソイル覆土用）を1kg使用した。けい酸加里肥料は細粒品（可溶性ケイ酸30%：開発肥料株式会社製）を床土部分に100gを混合施用し、藤井ら（1999）が報告しているシリカゲル肥料（可溶性ケイ酸80%：富士シリシア化学株式会社製）の苗質向上に対する最適施用量（250g/育苗箱）を施用したものと肥料効果を比較検討した。けい酸加里肥料はアルカリ分を多く含むため、育苗箱に施用する場合、多施用や形状の違いによっては培土の適正pHの上限である5.5（JA全農肥料農薬部，2003）を超過し、苗に障害を及ぼす恐れがある。そこで、1～2mmの細粒品を育苗箱1箱当たり最大100gの施用であれば培土のpHに影響が少ない（道上，2002）ことを、あらかじめ確認した上で育苗試験を実施した。品種は‘コシヒカリ’で、育苗箱当たり乾もみで130g相当量の催芽もみを2000年が4月19日、2001年は4月20日に播種した。

2) 調査及び分析方法

苗質調査は播種後20日に実施した。地上部及び根部の乾物重は100本について、また苗丈と苗の直立度は50本を調査した。このうち、直立度は藤井ら（1999）の方法に準じ、葉身軸中央から最上位展開葉の先端までの直線距離を測定し、受光体勢の良否を判定するための指標とした。

葉身の硬さは、苗2本を一株とし20株について、第一葉下部を支点として左右に45度傾けるのに必要な力をテンションゲージ（TECLOCK社製）により測定した。

また、苗の発根力は次の手順で調査した。すなわち、ポリポットに1kgの床土を充填し、たん水状態とした。根を切除した苗をポット当たり10本移植後、室温に置床し、移植後14日目の発根数及び総根長を測定した。調査は2反復で行った。

苗のケイ酸濃度は、硝酸・過塩素酸で湿式灰化後重量法により求めた。

3. けい酸加里肥料の育苗箱施用が移植後の‘コシヒカリ’水稻の生育、収量及び玄米品質に及ぼす影響

1) 試験区及び栽培方法

(1) ポット試験

試験は1/2000aワグネルポットを用い、各処理区2連で2000年と2001年に実施した。島根県農業試験場（現 島根県農業技術センター）の水田作土から採取した土壌（沖積土，土性SCL）を乾土12kg相当量をポットに充填した。基肥は、窒素（N）、リン酸（ P_2O_5 ）、加里（ K_2O ）をそれぞれ塩化アンモニウム、過リン酸石灰、塩化カリウムを用い、ポット当たり各成分1.0gを代掻き時に全層混和した。次に、普通育苗及びけい酸加里肥料（100g/育苗箱）並びにシリカゲル肥料（250g/育苗箱）を床土に混合施用して育苗した‘コシヒカリ’稚苗を2000年が6月9日、2001年が6月5日に2株（3本/株）移植した。出穂期は2000年が8月15日、2001年が8月13日であり、収穫はそれぞれ9月18日と9月20日に行った。穂肥は、2000年は施用せず、2001年は7月26日に塩化アンモニウムと塩化カリウムをポット当たり各成分0.3gを表層施肥した。栽培は雨よけハウス内で行い、栽培期間中は常時たん水状態を保ち、かん水には水道水を使用した。

(2) 圃場試験

試験は、島根県農業試験場内の水田で2000年と2001年に実施した。土壌は低地造成土、細粒質黄色土/湿性相で、可給態窒素（30℃，28日間培養）含量は11.7～13.5mgN/100gであった。また、たん水保温静置法による可給態ケイ酸含量は3.2～3.9mgSiO₂/100gであり、窒素肥沃度は適量であるが、ケイ酸肥沃度の低い土壌である。

両年ともに、けい酸加里肥料100gの育苗箱への施用の有無の2水準とした。試験は1区96m²

とし、調査は試験区内の4か所で行った。

基肥は、2000年が5月2日、2001年が5月7日に島コシ2号(10-18-16)と重焼リン(0-35-0)を用い1a当たり窒素(N)0.25kg、リン酸(P_2O_5)0.80kg、加里(K_2O)0.40kgを代掻き時に全層混和した。穂肥は2000年が7月12日と19日にNK-C12号(16-0-20)を用い1a当たり窒素(N)0.25kg、加里(K_2O)0.31kgを分施した。2001年は7月16日に、1a当たり窒素(N)0.15kg、加里(K_2O)0.19kgを1回、表層へ施用した。

ケイ酸の育苗箱施用後、育苗箱当たり乾もみで130g相当量の‘コシヒカリ’の催芽もみを2000年が4月19日、2001年が4月20日に播種した。また育苗した稚苗を2000年が5月10日、2001年が5月11日に機械移植した。栽植密度は両年ともに m^2 当たり19.8株であった。2000年の幼穂形成期は7月5日、出穂期は7月31日、収穫期は9月8日、2001年の幼穂形成期は7月5日、出穂期は7月31日、収穫期は9月4日であった。

2) 調査及び分析方法

(1) ポット試験

収量及び収量構成要素は、全株を常法により調査した。また、根重は刈り取り後の稲株をワグネルポットから土壌ごと取り出し、丁寧に土壌を洗い流した後、60℃で熱風乾燥して乾物重を測定した。

(2) 圃場試験

収量は、1区4 m^2 の部分刈りにより、また、収量構成要素は常法により調査した。生育は1区当たり1株3本植えに調整した20株を調査した。稲体乾物重は、移植後30日及び成熟期に平均的な茎数の株を1区当たり4株抜き取り、地上部を60℃で熱風乾燥し、移植後30日は地上部全体を、成熟期には茎葉ともみに分けて乾物重を測定した。稲体のケイ酸は湿式分解後、重量法により定量し、乾物重から単位面積当たりの吸収量を算出した。玄米品質に関わる項目のうち、検査等級は中四国農政局島根農政事務所に依頼し、1等上～3等下までを9段階評価した。また、搗精歩合90%の白米について、食味分析計(味選人:クボタ社製)により食味評価値を測定し、タンパク質含有率はケルダール窒素の分析値に

5.95を乗じて粗タンパク値として求めた。乳白粒率は、2000年は玄米5,000粒、2001年は4,000粒中の乳白粒数を目視により計測し算出した。

III 結果及び考察

1. 土壌の理化学性が‘コシヒカリ’の乳白粒発生に及ぼす影響

調査圃場の土壌断面調査結果を表1に示した。平田市の調査圃場は、すべてがグライ低地土であり、土性は粘質又は強粘質であった。また、湖陵町も、すべてがグライ低地土であった。土性は、乳白粒の発生が少ない4圃場がすべて強粘質であったのに対し、多発圃場では3圃場が砂質であった。一方、県西部でも5地区の調査圃場のほとんどがグライ低地土であったが、乳白粒の多発した浜田市A及び三隅町Aの圃場は、灰色低地土と低地水田土であった。土性は、ほとんどが砂質又は壤質であった。

グライ低地土のほとんどは、全層又は作土次層、もしくは30cm以内からグライ層が出現する強グライ土壌であった。このように、調査圃場のほとんどが、30cm以内にグライ層が出現する強湿田であったため、グライ層の有無や出現位置と乳白粒の発生との関係を調査することはできなかつた。

次に、土性との関係を整理すると、湖陵町では乳白粒の発生が少ない圃場が強粘質であったのに対し、多発圃場の3/4が砂質であった。また、県西部の5地区10圃場のうち、8圃場が砂質又は壤質であったが、地区別にみると浜田市の乳白粒多発圃場では少ない圃場に比べて粘土含量がより少ないか、もしくは砂やシルトの含量がより多い土性であった。金田(2007)は‘ササニシキ’の白粒発生率が、粘土含量が多く保肥力の大きい土壌より砂壤土や灰色低地土などのように保肥力が小さく乾燥しやすい土壌で高いことを指摘している。本調査でも、同一地区内で土性を比較すると湖陵町や浜田市などの3地区で保肥力が小さく、透水性が大きい土性で乳白粒が多い傾向が認められた。

図1に作土の深さと乳白粒の発生との関係を示した。標準誤差が大きいと明確であるとは言いが、平均値を比較すると、8調査地区のうち平田市Aと浜田市Bを除く6地区で、乳白粒

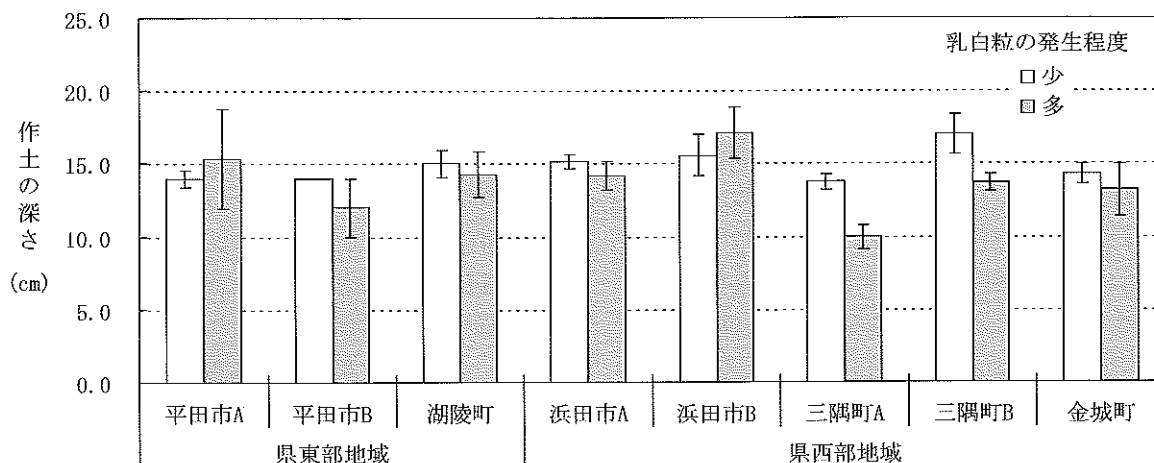


図1 作土の深さと乳白粒の発生

- 注1. 等級検査において1等米生産水田は少, 2等格付け理由が主に乳白粒であった水田は多に分類.
 2. 棒線は標準誤差.

表2 土壤層位別のち密度と乳白粒の発生程度

土壤層位	乳白粒の ^{注1)} 発生程度	ち密度範囲ごとの圃場割合 (%)		
		10mm未満	11~19mm	20mm以上
作土層	少	26.7	73.3	0.0
	多	46.2	53.8	0.0
次層	少	0.0	78.6	21.4
	多	0.0	46.2	53.8
3層	少	0.0	70.0	30.0
	多	0.0	50.0	50.0

- 注1. 等級検査において1等米生産水田は少, 2等格付けの理由が主に乳白粒であった水田は多に分類
 2. ち密度は, 山中式硬度計による貫入抵抗値 (mm)
 3. 調査圃場数 (乳白粒の発生程度: 少 n=15 多 n=14)

の発生が少ない圃場に比べて多発圃場の作土の深さが浅い傾向が認められた。

また, 土壤層位別のち密度と乳白粒の発生との関係を表2に示した。一般に, 水稻根の伸長にとって好適な土壤ち密度の上限値は20mm程度とされ, それを超えると水稻根の発達が阻害されることが知られている(藤原ら, 1996)。そこで, 土壤層位ごとに乳白粒多発圃場と乳白粒の発生が少ない圃場とで土壤ち密度を比較したところ, 作土次層及び3層において両圃場の間で顕著な差が認められた。すなわち, ち密度が20mm以上を示した圃場の割合が, 乳白粒多発

圃場の次層で53.8%, 3層で50.0%であり, 少ない圃場よりそれぞれ32.4%, 20.0%と高く, 乳白粒の多発圃場では少ない圃場に比べて下層土が硬いことが明らかとなった。

一般に, 深耕により作土の深さを確保することは安定多収のための基本的な技術として励行されてきた。井上(2003)は, 現在の登熟期間の気温は, それ自体が登熟障害を起こすほど高くないとしたうえで, 適正な作土の深さや水管理, 保肥力の小さい土壤における根系の拡大等による窒素の吸収・転流の安定化が品質向上にとって重要であることを指摘している。一方, 金田(2007)

は、水稻の根張りとう量の関係を調査し、特に高温条件下における養水分の吸収には、下層土に分布する水稻根の貢献度が高いことを指摘している。また角田ら(1995)は、深耕により作土を深くすることによって未熟粒数が減少し玄米品質が向上することを報告している。

このように、水稻根の大部分が分布する作土層は、養水分の吸収など生育を支える中心的な土壌層位と言える。したがって、作土の浅層化や下層土のち密化がみられたり、土性が粗～中粒質で保肥力が小さく透水性が大きい水田では、土壌養水分の供給や、水稻根の下層への伸長が抑制されることで登熟が阻害され、乳白粒の発生が助長されるものと推察された。

次に、乳白粒の発生程度と調査圃場の作土の化学性を表3に示した。作土中の可給態窒素及び遊離酸化鉄含量は、乳白粒の多発圃場と発生が少ない圃場との間で有意な差がなかった。一方、交換性陽イオンをみると、作土中の交換性カリウム(K_2O)は両圃場間で有意な差ではなかったが、交換性カルシウム(CaO)及び交換性マグネシウム(MgO)は5%水準で有意差が認められ、乳白粒の発生が少ない圃場で高かった。また、酢酸緩衝液浸出法による作土の可給態ケイ酸含量は、1%水準で有意差が認められ、乳白粒の発生が少ない圃場が多発圃場より明らかに高かった。水田土壌のケイ酸供給力の評価として、従来から広く用いられてきた酢酸緩衝液浸出法(今泉・吉田, 1958)は、珪カルなどのけい酸質肥料を多用した土壌で高い値を示すことが知られている(高橋, 1981)。聞き取り調査をしたところ、乳白粒の発生が少ない圃場では珪カル、ゼオライ

ト等のけい酸質肥料や土壌改良資材が施用されている事例が多く、このことが可給態ケイ酸含量の分析値に反映されたものと考えられた。また、これらの資材には副成分としてカルシウムやマグネシウムも含まれているので、同様にこれらの分析値に反映したものと考えられた。

酢酸緩衝液浸出法による可給態ケイ酸含量の多い水田で乳白粒の発生が少なかったことが、水稻のケイ酸吸収量の増加による効果であるかは不明である。しかし、土づくり肥料の施用量が増加するに伴い乳白粒が減少する傾向にあるとした金田(2007)の調査事例と併せ考えると、けい酸質肥料を施用し、土壌中の可給態ケイ酸含量を高めることが乳白粒の発生軽減に有効であることが示唆された。

以上のことから、乳白粒の発生に影響を及ぼす土壌的要因として、物理性では土性や作土の浅層化並びに下層土のち密化が、化学性では作土中の可給態ケイ酸の低下実態が関係すると思われる。

2. けい酸加里肥料の育苗箱施用が‘コシヒカリ’の苗質に及ぼす影響

松島(1977)は、苗質の判断指標として、乾物重と草丈の比率や苗の新根の再生力を提案している。また、藤井ら(1999)は、葉身軸中央から最上位展開葉の先端部までの直線距離によって受光体勢の良否を判定し、シリカゲル肥料の育苗箱施用が苗質の向上に有効であることを報告している。そこで、本研究では、けい酸加里肥料の育苗箱施用が‘コシヒカリ’の苗質に及ぼす影響を、これらの項目に準じて調査し、シリカゲル肥料と比較検討した。

表3 乳白粒の発生程度と作土の化学性

乳白粒の ^{注1)} 発生程度	可給態 ^{注2)} 窒素 (mgN/100g)	交換性陽イオン (mg/100g)			遊離 酸化鉄 ($Fe_2O_3\%$)	可給態 ^{注3)} ケイ酸 (mg SiO_2 /100g)
		CaO	MgO	K_2O		
少	13.0	277	67	29	1.4	16.1
多	11.7	138	38	27	1.4	8.2
t検定 ^{注4)}	ns	*	*	ns	ns	**

注1. 等級検査において1等米生産水田は少、2等格付けの理由が主に乳白粒であった水田は多に分類。

2. 保温静置培養法(30℃, 28日間培養)。

3. 酢酸緩衝液浸出法。

4. *, **はそれぞれ5%, 1%で有意差のあることを, nsは有意差がないことを示す。

(少:n=15, 多:n=14)

まず、育苗箱に施用する肥料の違いが苗のケイ酸吸収に及ぼす影響を表4に示した。苗地上部のケイ酸濃度は無施用苗に比べて、けい酸加里肥料の施用で4.6%、シリカゲル肥料の施用で5.8%高くなった。その結果、育苗箱当たりのケイ酸吸収量は、それぞれ無施用苗の4.6倍、5.3倍となった。また、けい酸加里肥料は、シリカゲル肥料に比べて施用する可溶性ケイ酸量が少ないにも関わらず、利用率は約10%高い値を示した。この点については、肥料に含まれるケイ酸の形態や共存養分の影響が考えられるが詳細は不明である。

次に、表5に‘コシヒカリ’の苗質に及ぼす肥料の影響を示した。けい酸加里肥料施用区及びシリカゲル肥料施用区では、無施用苗に比べて苗丈が長いものの、苗100本当たりの地上部の乾物重が増加したため、充実度(乾物重対草丈比率)は無施用の0.94に比べて、それぞれ

1.01, 1.04高くなった。また、葉身の硬さを比較すると、無施用に比べてけい酸加里肥料で平均値より10.0gf、シリカゲル肥料で22.6gf高くなった。このことから、ケイ酸を育苗箱に施用することにより葉身が硬くなり、直立度が向上して受光体勢が良好になると考えられた。

表6に苗の発根力に及ぼす肥料の影響を示した。無施用と比較して、発根数はけい酸加里肥料を施用すると約1本多くなった。また、苗1本当たりの平均根長に有意な差はなかったが、けい酸加里肥料施用区とシリカゲル肥料施用区でやや優る傾向が認められた。このため、総根長は、けい酸加里肥料を施用すると7.7cmとなり無施用に比べて2.6cm長く、5%水準で有意差が認められた。一方、シリカゲル肥料は5.7cmで、無施用と比べて0.6cm長くなったが、有意な差ではなかった。

水稻の安定増収や品質向上を図る上で、健苗

表4 育苗箱に施用する肥料の違いが苗のケイ酸吸収に及ぼす影響 (2001)

試験区	肥料 ^{注1)} 施用量 (g/育苗箱)	地上部 ケイ酸濃度 (SiO ₂ %)	地上部 ケイ酸吸収量 (SiO ₂ g/育苗箱)	肥料 ^{注2)} 利用率 (%)
けい酸加里	100 (30)	6.36	4.61	12.0
シリカゲル	250 (200)	7.47	5.34	2.2
無施用	0 (0)	1.72	1.01	—

- 注1. 肥料施用量のうち、()内の数値は可溶性ケイ酸含量を示す。
 2. ケイ酸吸収量(ケイ酸施用区 - 無施用区) ÷ ケイ酸施用量 × 100

表5 育苗箱に施用する肥料の違いが水稻の苗質に及ぼす影響 (2001)

試験区	苗丈 ^{注1)} (cm)	乾物重 (g/100本)		充実度 ^{注1, 2)} (mg/cm)	葉身の硬さ ^{注1, 3)} (gf)	直立度 ^{注1, 4)} (cm)
		地上部	根部			
けい酸加里	14.3±0.1 a	1.45	0.49	1.01	99.0±2.8 a	2.0±0.1 a
シリカゲル	13.7±0.1 b	1.43	0.39	1.04	111.6±2.2 b	2.1±0.1 a
無施用	12.5±0.1 c	1.17	0.29	0.94	89.0±3.3 c	2.5±0.1 b

- 注1. 苗丈、直立度は平均値±標準誤差 (n=50)、葉身の硬さは平均値±標準誤差 (n=20)。
 2. 地上部乾物重対苗丈比率。
 3. 苗(2本/株)を45度傾けるのに必要な力をテンションゲージで測定した値。
 4. 葉身軸中央から最上位展開葉の先端部までの直線距離を示す。
 5. 各調査項目内の異符号間には Tukey 法により 5% 水準で有意差あり。

表6 育苗箱に施用する肥料の違いと苗の発根力 (2000)

試 験 区	発根数 ^{注1)}	根長 ^{注2)}	総根長 ^{注2)}
	(本)	(cm)	
けい酸加里	4.60±0.26 a	1.64 a	7.7 a
シリカゲル	3.60±0.26 b	1.49 a	5.7 ab
無 施 用	3.55±0.27 b	1.37 a	5.1 b

注1. 平均値±標準偏差 (n=20).

2. 苗1本当たりの平均値を示す.

3. 調査項目内の異符号間には5%水準で有意差あり (Tukey 法)

の育成技術が重要であることは古くから認識されている。松島(1977)は、良質な苗ほど乾物重対草丈比率(充実度)の値が高く、発根力が強いとしている。けい酸加里肥料を用いた本研究の結果は、松島(1977)が示す健苗の条件と合致した。また、けい酸加里肥料はシリカゲル肥料よりケイ酸の利用率が高く、苗質も同様に向上しており、シリカゲル肥料に代わる安価な肥料として、育苗箱施用が可能であると考えられた。

3. けい酸加里肥料の育苗箱施用が移植後の‘コシヒカリ’の生育、収量及び玄米品質に及ぼす影響

藤井ら(1999, 2001)は、シリカゲル肥料を育苗箱に施用した苗を本田へ移植すると、活着が良好で初期茎数の確保に結びつき、増収することを報告している。そこで、まずポット試験により、けい酸加里肥料の育苗箱施用が‘コシヒカリ’の生育、収量及び収量構成要素に及ぼす影響をシリカゲル肥料と比較検討するとともに、圃場試験により、乳白粒の発生程度に及ぼす影

響を検討した。

育苗箱に施用する肥料の違いが‘コシヒカリ’の収量及び収量構成要素に及ぼす影響を表7に示した。けい酸加里肥料を100gまたはシリカゲル肥料を250g施用して育てた苗を移植すると、両年ともわら重は無施用と大差なかったが、もみ重で上回り、もみ/わら比が高くなった。

次に、収量及び収量構成要素をみると、2000年は、けい酸加里肥料施用苗やシリカゲル肥料を施用した苗を移植すると、穂数及び1穂もみ数には無施用と大差がなかったが、玄米千粒重がやや重く、登熟歩合がそれぞれ17、22%高まった。その結果、玄米収量はそれぞれ62、54%増加した。2001年はけい酸加里肥料を施用すると無施用に比べて穂数がポット当たり6本増加し、玄米千粒重がやや重く、登熟歩合が32%高まった。一方、シリカゲル肥料を施用すると玄米千粒重がやや重く、登熟歩合が20%高まった。その結果、けい酸加里肥料とシリカゲル肥料の玄米収量が、それぞれ69、38%増加した。

表7 育苗箱に施用する肥料の違いが水稻の収量及び収量構成要素に及ぼす影響 (ポット試験)

調 査 年 次	試 験 区	もみ重 (g/pot)	わら重 (g/pot)	もみ / わら	玄米 収量 (g/pot)	玄米収量 指 数	穂 数 (本/pot)	1 穂 もみ数 (粒)	登 熟 ^{注1)} 歩 合 (%)	玄 米 千粒重 (g)
2000	けい酸加里	89.5	116.1	0.77	60.6	162	74	58	69.6	20.4
	シリカゲル	90.8	118.9	0.76	57.6	154	75	59	64.6	20.1
	無 施 用	78.0	116.3	0.67	37.5	100	76	58	42.4	20.0
2001	けい酸加里	107.9	94.2	1.15	90.8	169	68	67	88.3	22.7
	シリカゲル	91.9	92.9	0.99	74.1	138	63	69	75.7	22.7
	無 施 肥	72.3	88.0	0.82	53.6	100	62	69	55.9	22.3

注1. 粒厚が1.8mm以上の玄米の総もみ数に対する粒数比率。

2000年に根の乾物重を測定した結果を図2に示した。けい酸加里肥料施用苗やシリカゲル肥料を施用した苗を移植すると無施用に比べてそれぞれ27と19%重く、根量が多くなった。

以上のポット試験の結果から、育苗箱にけい酸加里肥料施用苗やシリカゲル肥料施用苗を移植すると、無施用苗に比べて根量が増加することが分かった。また、登熟歩合が向上し、玄米千粒重が重くなり増収した。したがって、けい酸加里肥料を育苗箱に施用することにより、藤井ら(1999)が報告した苗の活着や茎数、乾物重の確保に対するシリカゲル肥料の施用と同様な効果を示すことが明らかとなった。

次に、表8にけい酸加里肥料の育苗箱施用が水稻の収量及び収量構成要素に及ぼす影響を圃場レベルで検討した結果を示した。無施用に対するもみ重、わら重の増減は年次によって異なり一定の傾向はみられなかったが、もみ/わら比は同等かやや高くなった。収量及び収量構成要素をみると、2000年は無施用に比べて登熟歩合が約4%高く、玄米千粒重が重かったが、穂数

及び1㎡当たりのもみ数が低下したため6%減収した。一方、2001年は、すべての項目で無施用を上回ったが、なかでも登熟歩合が約2%向上したと1㎡当たりのもみ数の増加が影響し5%増収した。

‘コシヒカリ’の品質に及ぼす影響について表9に示した。けい酸加里肥料を施用した苗を本田へ移植すると、タンパク質含有率や食味値は、両年で逆の結果が得られ効果が判然としなかった。一方、乳白粒の発生率は、両年ともけい酸加里肥料を施用した区で低下したため、検査等級が向上した。

次に、表10に‘コシヒカリ’のケイ酸吸収に及ぼす影響を示した。本田移植後の稲体ケイ酸濃度は、けい酸加里肥料を育苗箱へ施用しても無施用とほとんど差がなかった。一方、ケイ酸吸収量をみると、両年とも幼穂形成期までは無施用に比べて低かったが、成熟期には2000年が約80kg/ha、2001年が約15kg/ha高くなり、幼穂形成期以降の生殖生長期にケイ酸吸収量が増加する傾向が認められた。

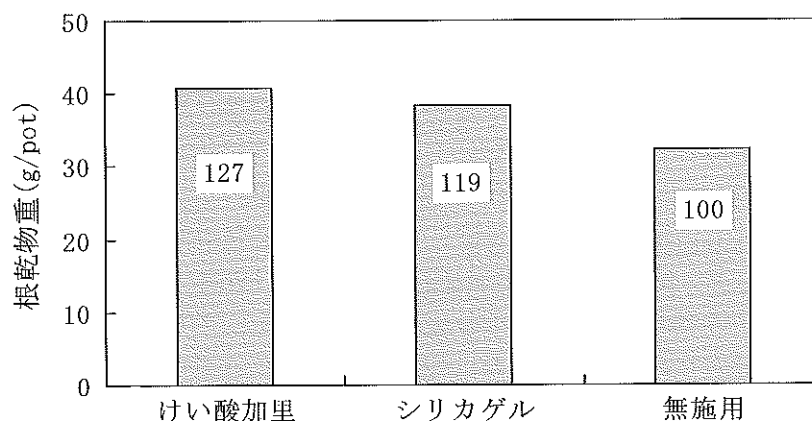


図2 育苗箱に施用する肥料の違いが水稻の根重に及ぼす影響 (2000年)
注 図中数値は、無施用を100とした場合の指数。

表8 けい酸加里肥料の育苗箱施用が水稻の収量及び収量構成要素に及ぼす影響 (圃場試験)

調査年次	けい酸加里肥料	もみ重 (kg/a)	わら重 (kg/a)	もみ / わら	玄米収量 (kg/a)	玄米収量指数	穂数 (本/㎡)	㎡当たり総もみ数 (粒×100)	登熟歩合 (%)	玄米千粒重 (g)
2000	施用	76.9	62.3	1.24	58.3	94	374	307	83.9	22.6
	無施用	84.2	71.3	1.18	62.3	100	436	357	79.7	22.0
2001	施用	76.8	67.4	1.14	59.5	105	407	309	86.0	22.4
	無施肥	73.6	64.4	1.14	56.9	100	406	305	84.2	22.2

注 図中数値は、無施用を100とした場合の指数。

以上の圃場試験の結果から、けい酸加里肥料を施用した苗を移植すると、ポット試験ほど明確ではないが、収量構成要素のうち、登熟歩合が向上する傾向が認められた。また、乳白粒率が低下し、検査等級が向上することが明らかとなった。

松島(1977)は、登熟歩合は出穂後の発育停止もみの多少によって決定されるとし、その要因として同化量や呼吸量の多少、同化産物の転流の良否、もみの受け入れ能力の持続期間を指摘している。乳白粒の発生要因も、高温条件下における同化量と呼吸量のアンバランスによるところが大きい(安原, 2002; 月森, 2003; 農林水産省東北農業試験場, 2001; 寺島ら, 2001)ことから、乳白粒の発生と登熟歩合の良否は密接に関係していると考えられる。

登熟歩合を向上させる一つの対策として松島(1977)は、根の活力を増進させることをあげ、そのためには出穂後に窒素を不足させないことが重要になることを指摘している。このように水稻の登熟歩合の向上に最も重要な土壤中の可給態養分は窒素であるが(木内・石阪, 1960)、ケイ酸もまた、茎葉を剛直にし受光体勢を向上させるため、光合成を促進し、根の活力向上によって土壤養水分の吸収を促進したり、吸収窒素の同化を促進して、登熟歩合を高める成分として知られている(高橋, 1987)。本研究では本田の窒素施肥条件を同一とし、ケイ酸施肥法による乳白粒の発生軽減効果を検討した。しかし、ケイ酸の施用が圃場ではなく育苗箱であり、この方法で施用されるケイ酸量は10a当たり約2kgであるため、収穫時の水稻が保有するケイ酸量の約

表9 けい酸加里肥料の育苗箱施用が水稻の品質に及ぼす影響

調査年次	けい酸加里肥料	検査等級 ^{注1)}	9段階 ^{注2)} 評価値	食味 ^{注3)} 評価値	タンパク質 ^{注4)} 含有率(%)	乳白粒率 ^{注5)} (%)
2000	施用	1下~2上	3.8	77.4	6.6	7.0
	無施用	2下	5.3	73.8	6.8	8.5
2001	施用	1下~2上	3.3	86.8	5.8	4.0
	無施用	2上~中	4.3	87.0	5.6	7.2

- 注1. 中四国農政局島根農政事務所の調査結果。
 2. 1等上~3等下までを1~9とした平均値を示す。
 3. 搗精歩合90%の白米の味選人(クボタ社製)による測定値。
 4. ケルダール窒素分析値に5.95を乗じた白米中粗タンパク値。
 5. 2000年は玄米5,000粒中、2001年は4,000粒中の粒数比率を示す。

表10 けい酸加里肥料の育苗箱施用が水稻のケイ酸濃度と吸収量に及ぼす影響

調査年次	けい酸加里肥料	ケイ酸濃度(%)				ケイ酸吸収量(kg/ha)				
		移植後30日	幼穂形成期	成熟期		移植後30日	幼穂形成期	成熟期		合計
2000	施用	5.6	4.8	2.3	7.9	9.8	139.9	210.7	621.2	831.9
	無施用	6.5	5.0	2.1	7.1	13.8	198.1	195.2	556.9	752.1
2001	施用	3.6	4.5	2.4	6.3	11.3	115.7	231.6	529.5	761.1
	無施用	3.7	4.8	2.8	7.3	10.2	122.2	234.3	511.7	746.0

注 水稻地上部の濃度及び吸収量を示す。

100kg に比べると僅かである。また、水稻のケイ酸濃度が必ずしも無施用より高くなっていないことから、乳白粒の発生軽減に対し直接的に関与したかどうかは明確でない。

ここで、ケイ酸を育苗箱に施用し、健苗を育成することの効果について整理してみたい。井上ら(2001)は、稚苗の苗質が移植後の初期生育や収量、品質に及ぼす影響を調査し、苗質の違いによる根系の違いが乳白粒の発生に及ぼす影響は大きく、健苗育成の意義は良質米生産にとって重要であることを指摘している。この報告は育苗箱への窒素施肥条件を変えて検討されたものであり、ケイ酸施肥の違いによる調査事例ではない。しかし、藤井ら(1999, 2001)の調査報告や本研究から、ケイ酸吸収量の増加による健苗育成が可能であったので、井上ら(2001)と同様に乳白粒の発生軽減に寄与したのではないかと考えられた。

本研究の土壤断面調査及び理化学分析の結果、乳白粒多発水田でみられた、土性及び作土層の浅層化や下層土のち密化、土壤中の可給態ケイ酸含量の低下実態は、水稻の健全な生育や登熟を妨げるものであり、乳白粒発生の助長要因となったと考えられる。これらの要因の改善は、農業者の高齢化にともなう労力不足や肥料の高騰など、水稻作を取り巻く状況下では容易でない。したがって本研究で検討した、けい酸加里肥料を育苗箱に施用することは、間接的な効果ではあるが、比較的安価で省力的に乳白粒の発生を軽減する方法であると考えられた。本研究は、乳白粒の発生軽減に対する即効的な対策を検討したものであり、本田へのケイ酸施用の効果は未検討である。今後、土壤中におけるケイ酸の形態と水稻の吸収量、ケイ酸の吸収量と乳白粒の発生との関係等について更に検討し、乳白粒の発生に対するケイ酸質肥料や資材の施用効果を検証する必要がある。

IV 摘 要

‘コシヒカリ’の乳白粒発生に影響を及ぼす土壤の要因を明らかにするために、県内における水田土壤の理化学性と乳白粒の発生との関係を調査した。また、けい酸加里肥料の育苗箱施用による、苗質向上並びに本田移植後における乳白

粒の発生軽減効果について検討した。

1. 乳白粒の多発圃場では作土層が浅く、作土層のち密度が硬い傾向が認められた。また、可給態ケイ酸含量が明らかに低かった。
2. けい酸加里肥料を施用して育苗すると、苗のケイ酸濃度が上昇した結果、葉身が硬くなり、直立し、発根が旺盛となることで苗質が向上した。
3. けい酸加里肥料を施用して育成した苗を1/2000aワグネルポットへ移植すると、無施用苗に比べて登熟歩合が向上し、増収する傾向が認められた。また、圃場試験においても登熟歩合の向上効果が認められるとともに、乳白粒率が2～3%低下し、9段階で評価した検査等級は1～2ポイント向上した。
4. けい酸加里肥料の育苗箱施肥は、安価で省力的な方法であり、シリカゲル肥料に比べて経済性が高く、苗質向上や乳白粒の発生軽減に対して有効と考えられた。

引用文献

- 土壤養分測定法委員会編(1994) 土壤養分分析法。養賢堂, 329-330.
- 藤井弘志・早坂剛・横山克至・安藤豊(1999) シリカゲルの育苗施用が水稻苗の活着および初期生育に及ぼす影響。土肥誌, 70, 785-790.
- 藤井弘志・松田裕之・安藤豊・横山克至・森静香・高取寛・渡部幸一郎(2001) 良食味米生産のための施肥・栽培条件 [1]。農業および園芸, 76, 46-52.
- 藤原俊六郎・安西徹郎・加藤哲郎(1996) 土壤診断の方法と活用, 農文協, 64-69.
- 今泉吉郎・吉田昌一(1958) 水田土壤の珪酸供給力に関する研究。農業技術研究所報告B, 第8号, 261-304.
- 井上健一・湯浅佳織(2001) 水稻品質食味要因の安定性に関する解析的研究 第1報 苗質がコシヒカリの初期生育と収量品質におよぼす影響。福井農試研報, 38, 1-9.
- 井上健一(2003) 高温のイネ生産への影響と技術的対策—福井県の場合—。日作紀, 72, 440-445.
- JA 全農肥料農薬部(2003) 施肥診断技術者ハン

- ドブック, 313-317.
- 角田憲一・安藤豊・佐藤隆・志賀勳 (1995) 低位生産性水田における深耕の効果. 山形大学紀要, 12 (2), 103-109.
- 金田吉弘 (2007) 気候温暖化条件下における水稲安定生産のための基本技術. 季刊肥料, 108, 96-105.
- 木内知美・石阪英男 (1960) 水稲の収量形成過程に及ぼす栄養条件の影響 (窒素). 土肥誌, 31, 285-291.
- 松島省三 (1977) 稲作診断と増収技術, 94-102.
- 道上伸宏 (2002) 近畿中国四国地域における新技術第2号, 56-58.
- 農林水産省東北農業試験場 (2001) 東北地域における夏季の異常高温が水稲生育およびコメ品質に及ぼす影響の解析と今後の対策, 19-78.
- ペドロジスト懇談会編 (1994) 土壌調査ハンドブック. 博友社, 37-40.
- 島根県農林水産部 (2002) 平成13年産「コシヒカリ」乳白粒の発生要因と5月下旬田植えの効果について. 1-3.
- 高橋英一 (1987) ケイ酸植物と石灰植物. 農文協, 54-103.
- 高橋和夫 (1981) 銚さいの水稲に対する肥効と水田土壌中の有効態けい酸に関する研究, 四国農報, 38, 75-114
- 寺島一男・齋藤祐幸・酒井長雄・尾形武文・秋田重誠 (2001) 1999年の夏期高温が水稲の登熟と米品質に及ぼした影響. 日作紀, 70, 449-458.
- 月森弘 (2003) 島根県における高温のイネ生産への影響と技術的対策. 日作紀, 72, 434-439.
- 安原宏宣・月森弘 (2002) 窒素施肥量が水稲「コシヒカリ」の乳白粒発生に及ぼす影響. 日本作物学会中国支部研究集録, 43, 14-15.

Summary

Influence of Physical and chemical property of paddy soil in Shimane prefecture on the increase of milky white rice kernel (MWK) of rice cv. Koshihikari was investigated. Also effects of potassium silicate application to a nursery box on the quality of seedlings of rice plant and the suppression of occurrence of MWK were examined.

1. The topsoil was slight in the paddy field with the frequent occurrence of MWK, and the firm tendency of the soil hardness was recognized in the subsoil. In addition, the available silicic acid content was clearly low.
2. The concentration of silicic acid in the seedlings increased by potassium silicate application to a nursery box. With this application, a leaf blade became tense and it stood straight up, and the following rooting became vigorous.
3. When the seedlings to which potassium silicate fertilizer was application were transplanted to a paddy field, their root system was improved, and the percentage of ripened grains increased. Therefore MWK rate decreased 2 ~ 3%, and an inspection grade improved 1 ~ 2 point.
4. Potassium silicate application in a nursery box is more economical than Silicagel manure application. And quality of seedlings improved and the emergence of MWK was reduced.