

## 「ミネアサヒSBL」栽培におけるケイ酸質資材施用の影響

出原清士郎<sup>1)</sup>・久野智香子<sup>2)</sup>・小田紫帆里<sup>3)</sup>・谷本涼<sup>4)</sup>・吉田朋史<sup>5)</sup>・後藤寛明<sup>5)</sup>・大竹敏也<sup>1)</sup>

**摘要:** 愛知県中山間地域のブランド米「ミネアサヒSBL」の良食味米生産の安定を図るため、ケイ酸質資材施用効果を現地栽培試験により検証した。ケイ酸カリの代かき前施用では、単年度施用では増収効果は見られなかったが、2年施用により土壤可給態ケイ酸含量が $30 \text{ mg kg}^{-1}$ 以下のほ場を中心に若干の増収傾向が見られた。シリカヒドロゲルの中干し後多量施用では、作物体のケイ酸濃度が上昇し、増収傾向が見られた。ケイ酸カリの代かき前施用を2年行ったほ場で窒素成分を減肥したところ、ケイ酸カリの施用により窒素減肥による収量の減少を抑えられる可能性が示唆された。

「ミネアサヒSBL」の栽培地帯である中山間地域の土壤中の可給態ケイ酸は、愛知県の土壤診断基準 $100 \text{ mg kg}^{-1}$ を下回る地域が多く、ケイ酸質資材施用は安定的な良質米生産に効果が期待できると考えられた。

**キーワード:** ミネアサヒSBL、ケイ酸質資材、可給態ケイ酸、ケイ酸吸収量

### 緒言

中山間地域は、鳥獣被害の発生や高齢化・人口減少、担い手不足などの厳しい状況に置かれており、また水田は1つ1つのほ場が小さく、かつ点在しており、平坦地域と比較して不利な耕作状況にある。そのような中で、中山間地域で水田作を継続するには、消費者ニーズに応える良食味米による高付加価値化が重要となる。

愛知県内(以下県内)の中山間地域での代表的な良食味ブランド米として「ミネアサヒ」がある。「ミネアサヒ」は、良食味であるが、中山間地で問題となる病害のいもち病に弱く、生産安定を図るため、いもち病抵抗性品種の育成・普及が長年産地から要望されてきた。そこで、愛知県は、「ミネアサヒ」にいもち病抵抗性を付与したミネアサヒ同質遺伝子系統品種「ミネアサヒSBL」を育成し、2021年度から全面的に「ミネアサヒSBL」栽培に切り替えた。この品種切り替えを契機に、「ミネアサヒSBL」が良食味のブランド米として更に高い評価を得るため、施肥改善、ケイ酸資材施用など良食味栽培に適した栽培方法の検討を進めている。

けい素は水稻では吸収量も非常に多い重要な成分であり、病害虫抵抗性<sup>2)</sup>、耐倒伏性の増大<sup>3)</sup>、夏期高温障害の軽減<sup>4)</sup>など、様々な効果があるとされている。また、水稻の葉を直立させて受光態勢を良くすることによる光合成能力の増加<sup>5)</sup>や、水稻の老化に伴う光合成低下の低下及びクロロフィル含量の減少を抑制する効果<sup>6)</sup>により、登熟歩合が向上して収量が増加するとともに、米粒中タンパク質含有率が相対的に

低下することが報告されている<sup>6-9)</sup>。

そこで、本研究では、「ミネアサヒSBL」の現地栽培試験により、ケイ酸質資材施用が収量、玄米タンパク質含有率などに及ぼす効果を検証するとともに、「ミネアサヒSBL」の栽培地域の土壤中の可給態ケイ酸含量の現状を明らかにしたので報告する。

### 材料及び方法

#### 1 ケイ酸質資材施用効果の検証

##### (1) 試験区概要

岡崎市2地点、豊田市3地点で、2020年～2022年に同一ほ場を用いてケイ酸質資材の施用試験を実施した(表1)。

2020年は、調査ほ場にケイ酸カリ区(ケイ酸カリプレミアム34(ケイ酸カリ肥料、可溶性ケイ酸34%) $17 \text{ g-SiO}_2 \text{ m}^{-2}$ を代かき前施用)と、慣行区(ケイ酸カリ施用なし)を設置した。

2021年は、2020年のケイ酸カリ区の一部をケイ酸質資材の多量施用試験として、シリカ区(ウォーターシリカ(シリカヒドロゲル肥料、可溶性ケイ酸17%) $100 \text{ g-SiO}_2 \text{ m}^{-2}$ を中干し後施用)及び慣行区を設置した。

2022年は、2020年と同一ほ場に同配置となるようケイ酸カリ区及び慣行区を設置した。さらに岡崎市中金町及び豊田市宮代町の2地点にて、ケイ酸カリ区及び慣行区内の一部に、施肥量を減らした区(以下減肥区)を設置し、窒素減肥の影響を調べた。窒素施肥量は、中金町のほ場では早生用側条エースを使用し、標準肥料区(以下標肥区) $7.8 \text{ gN m}^{-2}$ 、減

<sup>1)</sup>環境基盤研究部 <sup>2)</sup>環境基盤研究部(現作物研究部) <sup>3)</sup>環境基盤研究部(現園芸農産課) <sup>4)</sup>山間農業研究所(現西三河農林水産事務所) <sup>5)</sup>山間農業研究所

肥区5.2 gN m<sup>-2</sup>、宮代町のほ場では山間地用ひとまきくんを使用し、標肥区8.5 gN m<sup>-2</sup>、減肥区6.5 gN m<sup>-2</sup>とした。施肥は全量基肥であり、施肥量以外の栽培体系は地域慣行に準じた。土壌及び作物体は2021年のシリカ区を避けて採取した。

### (2) 土壌の可給態ケイ酸測定

各試験区の水稲作付け後(2020年及び2022年は刈り取り後、2021年は坪刈り時)に土壌を採取した。可給態ケイ酸の測定には、中性リン酸緩衝液法により80°Cで30分抽出した後、抽出液の一部を取り、モリブデン青<sup>10-12)</sup>による方法を用いた。

### (3) 作物体のケイ酸濃度測定

作物体のケイ酸濃度及び吸収量を測定した。試料は、2020年～2022年の各試験区の水稲を1区あたり3株刈り取り、わら及びもみを分け、60°Cで72時間乾燥した後それぞれ粉碎した。粉碎サンプルを重量法<sup>13)</sup>を用いて、ケイ酸濃度を測定した。

### (4) 水稲の収量及びたんぱく質含有率調査

2020年～2022年の各試験区において、1区あたり40株(10株×4条)収穫した。収穫物は風乾後、脱穀し1.85 mm縦目篩を用いて調整し重量を測定後、水分14.5%に換算した。玄米たんぱく質含有率は、米粒食味計(RLTA10B、株式会社サタケ、広島)で測定し、乾物換算値とした。

## 2 県内山間地域の土壌のケイ酸供給量の評価

県内の中山間地域の「ミネアサヒSBL」栽培ほ場の土壌の可給態ケイ酸含量を調査し、土壌のケイ酸供給量を評価した。試料は、2020年の現地ほ場16地点(岡崎市5地点、豊田市6地点、新城市5地点)、2021年の現地ほ場15地点(新城市)、2022年の現地ほ場10地点(豊田市)、計41地点の水稲作付け後土壌とした。可給態ケイ酸の測定には、モリブデン青<sup>10-12)</sup>による方法を用いた。

## 結果及び考察

### 1 ケイ酸質資材施用効果の検証

#### (1) ケイ酸カリの代かき前施用による効果

ケイ酸カリの単年施用となる2020年は、全試験区においてケイ酸資材施用の有無による水稲中(わら、もみ)のケイ酸濃度、精玄米重に差は認められなかった(表2)。2年施用となる2022年は、ケイ酸カリ施用により、作付け後土壌の可給態ケイ酸含量は西樫尾町を除き、ケイ酸カリ区で増加傾向にあった。また、精玄米重に若干の増加傾向が見られた。この傾向は、土壌中の可給態ケイ酸含量の特に低い樫山町や小田木町においてやや大きかった。ケイ酸カリ区では1穂粒数が各ほ場平均で約8%増加しており(データ省略)、これが増収の要因であると考えられた。清野ら<sup>14)</sup>は、ケイ酸石灰施用による増収は収量構成要素のうち主として一穂粒数の増加によるものであったとしており、森ら<sup>15)</sup>は、一穂粒数はケイ酸石灰施用によってケイ酸無施用よりも増加する傾向にあったとしており、これらの傾向と一致していた。

今泉ら<sup>16)</sup>は、水稲茎葉のケイ酸濃度が11%以下ではケイ酸石灰の肥効が認められるとしており、内村ら<sup>17)</sup>は、ケイ酸石

表1 各年の試験区設定

地点	2020	2021*	2022
樫山	ケイ酸カリ区	シリカ区 (慣行栽培)	ケイ酸カリ区
	慣行区	慣行区	慣行区
岡崎 中金	ケイ酸カリ区	シリカ区 (慣行栽培)	ケイ酸カリ区
	慣行区	慣行区	慣行区
宮代	ケイ酸カリ区	シリカ区 (慣行栽培)	ケイ酸カリ区
	慣行区	慣行区	慣行区
豊田 西樫尾	ケイ酸カリ区	シリカ区 (慣行栽培)	ケイ酸カリ区
	慣行区	慣行区	慣行区
小田木	ケイ酸カリ区	シリカ区 (慣行栽培)	ケイ酸カリ区
	慣行区	慣行区	慣行区

3か年とも、各地点の同一ほ場かつ同一区域に、ケイ酸質資材施用区(ケイ酸カリ区及びシリカ区)及び慣行区を設置した。

\* 2020年のケイ酸カリ区の一部にシリカ区を設置した。シリカ区以外では、地域慣行に準じた栽培を行った。

表2 ケイ酸カリ施用による影響(2020年、2022年)

地点	試験区	作付け後土壌 可給態ケイ酸含量		ケイ酸濃度				精玄米重		
				わら		もみ				
		2020	2022	2020	2022	2020	2022	2020	2022	
岡崎	樫山	ケイ酸カリ区	22.3	28.4	5.9	5.4	2.9	4.0	630	405
		慣行区	25.0	26.5	5.9	4.8	3.0	3.7	632	383
	中金	ケイ酸カリ区	35.9	45.7	7.5	6.2	2.8	2.6	582	587
		慣行区	44.3	39.6	7.5	6.0	2.7	2.6	574	580
豊田	宮代	ケイ酸カリ区	58.5	84.4	10.8	10.5	4.3	3.5	521	657
		慣行区	65.7	77.1	10.3	10.1	4.3	3.6	467	651
	西樫尾	ケイ酸カリ区	60.9	87.7	12.7	10.5	4.4	4.4	468	501
		慣行区	69.3	88	12.5	10.2	4.8	5.0	478	455
小田木	ケイ酸カリ区	25.9	31.8	5.0	5.8	2.6	2.5	577	525	
	慣行区	23.0	28.4	4.6	5.6	2.3	2.6	577	454	
平均	ケイ酸カリ区	40.7	55.6	8.4	7.7	3.4	3.4	556	535	
	慣行区	45.5	51.9	8.2	7.3	3.4	3.5	546	505	

表3 シリカヒドロゲル施用による影響(2021年)

地点	試験区	作付け後 土壌可給態 ケイ酸含量 mg kg <sup>-1</sup>	ケイ酸濃度		精玄 米重 g m <sup>-2</sup>	
			わら	もみ		
			%	%		
岡崎	檜山	シリカ区	42.4	6.8	3.7	484
		慣行区	39.9	5.4	3.2	439
	中金	シリカ区	46.0	6.8	3.7	493
		慣行区	38.3	8.0	2.8	528
宮代	シリカ区	141.9	11.9	3.8	473	
	慣行区	75.9	10.0	3.7	432	
豊田	西檜尾	シリカ区	85.4	11.7	4.2	598
		慣行区	74.1	11.0	4.1	591
小田木	シリカ区	32.8	9.1	3.3	628	
	慣行区	28.8	5.5	2.2	582	
平均	シリカ区	69.7	9.3	3.7	535	
	慣行区	51.4	8.0	3.2	514	

灰64 g-SiO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup>以上の施用で収量への効果が、96 g-SiO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup>以上の施用で茎葉のケイ酸含有率への効果が認められたとしている。また中川ら<sup>17)</sup>は、ケイ酸カリ20.4 g-SiO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup>の施用では収量への効果が見られなかったとしている。これらの報告から、ケイ酸カリの単年施用となる2020年において、わら中のケイ酸濃度が11%以下と低くてもケイ酸カリの施用による増収効果が認められなかった要因として、施用量が17 g-SiO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup>と少なかったことが考えられた。しかし、ケイ酸カリ17 g-SiO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup>の2年施用となる2022年において、土壌中の可給態ケイ酸含量の低い地域を中心にわらのケイ酸濃度が高くなり、精玄米重の増加傾向が認められたことから、ケイ酸カリの施用基準(13.6~20.4 g-SiO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup>)の施用量では、複数年施用により施用効果が期待できると考えられた。また、ケイ酸カリ施用により土壌中の可給態ケイ酸含量が向上し、土壌改善効果も期待できると考えられる。

(2) シリカヒドロゲルの中干し後多量施用による効果

シリカヒドロゲルの多量施用結果を表3に示した。シリカヒドロゲルの施用により、もみのケイ酸濃度は全地点、わらのケイ酸濃度と精玄米重は中金町を除いて増加傾向にあった。また、作付け後土壌中の可給態ケイ酸含量も増加傾向にあった。

本試験では、資材メーカーが提示する推奨量(2.55 g-SiO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup>)よりはるかに多い100 g-SiO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup>を施用し、ケイ酸資材の施用効果の検討を行ったが、ケイ酸資材施用による増収傾向が確認された。シリカ区では、各ほ場平均で登熟歩合が約3%、1穂粒数が約6%増加しており(データ省略)、これらが増収の要因であると考えられた。施用量や施用効果を詳細に検討するには、更なる複数年施用試験の実施が必要となるが、少なくともシリカヒドロゲルの中干し後多量施用により増収効果は期待できると考えられた。

(3) 窒素減肥条件下におけるケイ酸カリ施用の影響

窒素減肥とケイ酸カリ施用の有無によるわらのケイ酸濃度への影響を図1に示した。わらのケイ酸濃度は、減肥により高くなる傾向にあり、ケイ酸カリ施用により顕著であった。また、この傾向は、土壌中の可給態ケイ酸含量が宮代町より低い中金町で顕著に認められた。住田ら<sup>18)</sup>は、窒素肥料の施用量が少ないほど水稻葉身のケイ酸濃度は増加し、そのケイ

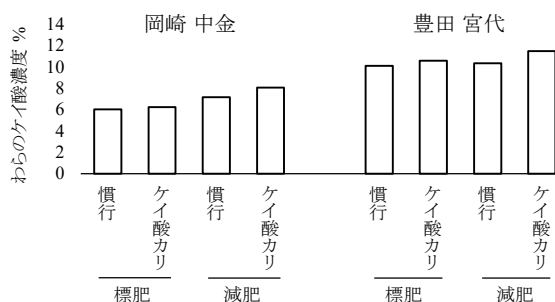


図1 窒素減肥とケイ酸カリ施用の有無によるわらのケイ酸濃度への影響(2022年)  
標肥: 地域慣行に準じた施肥量の区  
減肥: 施肥量を減らした区

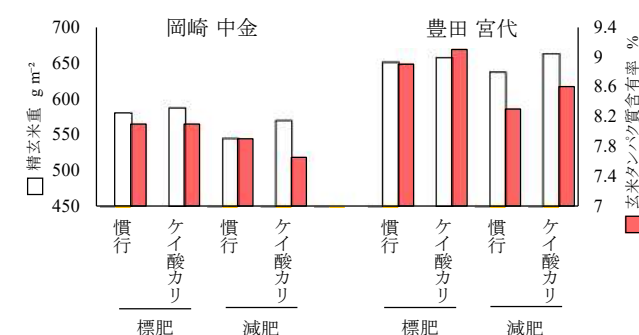


図2 窒素減肥とケイ酸カリ施用の有無による精玄米重及び玄米タンパク質含有率への影響(2022年)  
標肥: 地域慣行に準じた施肥量の区  
減肥: 施肥量を減らした区

酸濃度の増加量はケイ酸石灰施用により無施用よりも高くなるとしており、その傾向と一致した。

窒素減肥とケイ酸カリ施用の有無による精玄米重及び玄米タンパク質含有率への影響を図2に示した。精玄米重は、窒素減肥により減少したが、ケイ酸カリの施用により収量の減少率が軽減される傾向が認められた。この収量減が軽減された要因として、ケイ酸カリ区は一穂粒数が、中金町で約13%、宮代町で約3%増加した(データ省略)ことによるものと考えられる。玄米タンパク質含有率は、ケイ酸カリ施用の有無にかかわらず減肥により減少した。ケイ酸施用は穂への転流を増加させ、千粒重が増加することにより、米粒中タンパク質含有率が相対的に低下すると報告されている<sup>6-8)</sup>が、本試験ではどの試験区においてもケイ酸カリ施肥による千粒重の増加は見られず(データ省略)、玄米タンパク質含有率は既報とは異なる傾向を示した。ケイ酸カリ施用と玄米タンパク質含有率の関係は今後さらに検討が必要である。

「ミネアサヒSBL」は良食味生産を目指し、玄米タンパク質含有率7.5%以下を目標に窒素減肥等の施肥改善に取り組んでいる。今回、ケイ酸カリ施用は、窒素減肥による玄米タンパク質含有率の低減には大きな影響を与えず、一部収量減を軽減する効果が認められた。しかし、玄米タンパク質含有率目標の7.5%以下を達成できなかったことから、窒素減肥とケイ酸カリ施用を組み合わせた良食味栽培方法についてはさらに検討が必要である。

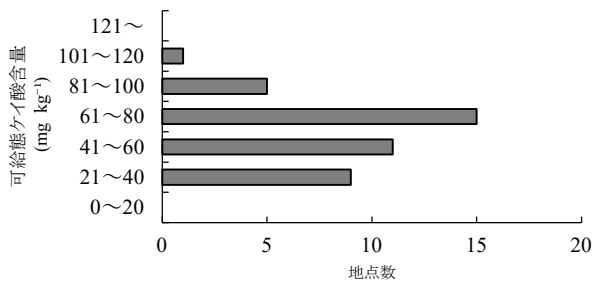


図3 中山間地域のミネアサヒSBL栽培ほ場の土壌中の可給態ケイ酸含量の頻度分布

## 2 「ミネアサヒSBL」栽培ほ場の土壌のケイ酸供給量の把握

中山間地の「ミネアサヒSBL」栽培地域の土壌中の可給態ケイ酸含量を調査したところ、41~60 mg kg<sup>-1</sup>が11地点、61~80 mg kg<sup>-1</sup>が15地点と、41~80 mg kg<sup>-1</sup>の地点が63%を占めていた(図3)。愛知県の土壌診断基準値(100 mg kg<sup>-1</sup>)以上となったのは、1地点のみであった。久野ら<sup>19</sup>は県内水田土壌の多くが土壌診断基準値を下回るとしており、中山間地域の結果もその傾向と一致した。

今回、ケイ酸質資材施用により、増収と土壌中の可給態ケイ酸含量の改善傾向認められたことから、土壌中の可給態ケイ酸含量が低い中山間地域では、「ミネアサヒSBL」の安定的な良質米栽培に向け、ケイ酸質資材の積極的な施用が必要と考えられる。

以上より、「ミネアサヒSBL」の栽培において、ケイ酸カリは施用量が施用基準内(13.6~20.4 g-SiO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup>)の場合、単年度施用では効果は見られず、複数年施用することでケイ酸資材の施用効果が見られる傾向にあると考えられた。ケイ酸カリよりも溶出しやすいシリカヒドロゲルを多量施用すると、単年度施用でも作物体のケイ酸濃度を高め、増収させる可能性があると考えられた。さらに、窒素減肥とケイ酸カリ施用を併用することで、玄米タンパク質含有率を減少させつつ、減収を抑える可能性が示唆され、継続的な試験が必要と考えられた。

また、中山間地域の土壌は可給態ケイ酸含量が低く、ケイ酸質資材施用は安定的な良質米生産に効果が期待できると考えられた。

**謝辞:**本研究にて、現地試験ほ場の設置及び調査の実施にあたり、各農業改良普及課の作物担当者、関係農業協同組合の担当者、担当農家には多大なるご協力をいただいた。ここに感謝の意を表す。

## 引用文献

1. 農林水産省. 令和4年度食料・農業・農村白書. p.230 (2023)
2. 笹本馨. 水稲珪酸と害虫 VI. ニカメイチュウの珪質化稲体加害と摂食行動, 日本応用動物昆虫学会誌. 2(2), 88~92 (1958)
3. 岩田岩保, 馬場起. 水稲品種の耐肥性に関する研究: 第2報 光合成から見た水稲の耐肥性と珪酸との関係, 日本作物学会紀事 30 (3), 237-240 (1962)
4. 金田吉弘. 水稲作における気候変動への土壌肥料的適応技術 5. 高温気象下での高品質米安定生産に果たすケイ酸と根圏環境の役割. 日本土壌肥科学雑誌. 89 (6), 515-521 (2018)
5. 東江栄, 森 和一, 窪田 文武, Peter B. KAUFMAN. 水稲の光合成・乾物生産に対するケイ酸の生理的役割: 第1報 ケイ酸および遮光処理の影響. 日本作物学会紀事. 61(2), 200-206(1992)
6. 安藤豊, 藤井弘志, 角田憲一, 鈴木克弥, 横山克至, 渡部幸一郎. 水稲の生育・収量に果たすケイ酸の役割: 第2報 ケイ酸施用が水稲の前期生育に及ぼす影響. 日本土壌肥科学会講演要旨集. 44, 145(1998)
7. 後藤英次, 稲津脩, 宮森康雄. 各種無機成分の追肥が水稲の不稔発生および産米品質に及ぼす影響. 日本土壌肥科学会講演要旨集. 44, 141(1998)
8. 宮森康雄. 低タンパク米生産におけるケイ酸の役割とその診断指標. 日本土壌肥科学雑誌. 67(6), 696-700(1996)
9. 内村要介, 尾形武文, 佐藤大和, 松江勇次. 水稲湛水直播栽培におけるケイ酸施用が倒伏, 収量, 食味および精米の理化学的特性に及ぼす影響. 日本作物学会紀事. 69(4), 487-492(2000)
10. 茂角正延, 橘田安正, 久保省三, 水落勁美. リン酸緩衝液抽出法による水田土壌の可給態ケイ酸評価法. 日本土壌肥科学雑誌. 73(4), 383-390(2002)
11. 柳井政史, 吉田吉明, 清水義昭. 酢酸緩衝液抽出法による土壌の可給態ケイ酸のアスコルビン酸粉末を用いた比色定量法. 日本土壌肥科学雑誌. 67(3), 273-278(1996)
12. 久保省三. 水田土壌の新しいケイ酸評価法「中性PB法」の提案. 季刊肥料, (95), 58-62(2003)
13. 栄養診断のための栽培植物分析測定法. 作物分析法委員会編. 養賢堂. 東京. p.141-142(1975)
14. 清野馨, 田村有希博, 竹内誠, 上沢正志. ケイ酸石灰の施用効果と水稲苗質との関係. 日本土壌肥科学雑誌. 63(3), 332-341(1992)
15. 森静香, 藤井弘志. 水稲におけるケイ酸資材の幼穂形成期施用の有効性. 日本土壌肥科学雑誌. 80(2), 136-142(2009)
16. 今泉吉郎, 吉田昌一. 水田土壌の珪酸供給力に関する研究. 農業技術研究所報告. B, 化学. 8, 261-304(1958)
17. 中川進平, 渋谷允, 伊藤千春, 伊藤正志, 石田頼子. 水稲におけるケイ酸カリの側条施用の影響. 東北農業研究. 68, 39-40(2015)
18. 住田弘一. 水稲のケイ酸吸収に対する窒素栄養の影響. 日本土壌肥科学雑誌. 63(6), 633-638(1992)
19. 久野智香子, 大橋祥範, 糟谷真宏. 愛知県内水田土壌の可給態ケイ酸含量及び水稲のケイ酸濃度の実態. 愛知農総試研報. 50, 51-54(2018)