

# カドミウム汚染圃場における 水稲生育停滞の回避技術

小野寺和英，島 秀之，長谷川 榮一<sup>1)</sup>

## Workaround of Growth Suppression of rice plants in Cadmium-Contaminated Paddy Fields

Kazuhide ONODERA, Hideyuki SHIMA and Eiichi HASEGAWA<sup>1)</sup>

### 抄 録

宮城県北部のカドミウム汚染圃場の一部では、6月中旬から水稲の生育停滞が発生し、分けつの発生抑制により穂数不足になり、収量の大幅な低下をもたらすため、回避技術の確立が求められている。この水稲の生育停滞を硫黄欠乏と考え、硫黄を含む資材を施用することにより、一部の圃場で生育停滞による減収を回避できることを確認した。施用方法としては、播種前硫酸カルシウム肥料（以下、石膏）床土混和、移植時石膏処理、生育停滞が発生し始めた6月中旬の硫酸マグネシウム肥料（以下、硫マグ）追肥を検討した。この3方法とも生育停滞回避や増収効果が認められたが、播種前床土混和が省力・低コスト性に優れ、最も有望な方法と考えられた。

【キーワード】水稲生育停滞，カドミウム，硫黄，硫酸カルシウム，床土混和

**Key words:** growth suppression of rice plants, cadmium, sulfur, calcium sulfate, bed soil mix

### 緒 言

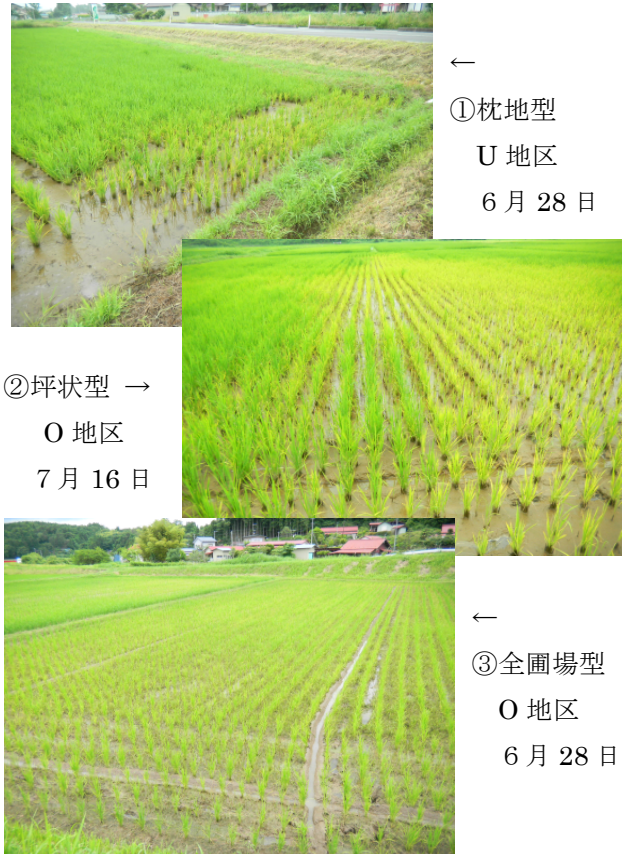
宮城県北部のカドミウム汚染圃場の一部では6月中旬から黄化症状をともなった水稲の生育停滞（第1図）が発生しており、分けつの発生が抑制され、大幅な精玄米重の低下をもたらしている。生育停滞の著しい圃場での坪刈り調査（2006年）では27.7, 31.5, 33.9kg/aとK市T地区の平均精玄米重50.2kg/a（2006年）より3～5割の減収となっており、原因究明と回避技術の確立が求められている。

この生育停滞の症状は辻が報告<sup>1)</sup>している硫黄欠乏症であると考え、その発生原因と硫黄を含む肥料施用による生育停滞回避技術について検討したので報告する。

### 調査および方法

#### 1. 試験方法

K市内のカドミウム汚染米の市場流通を防止するため産米をロット調査している分離調整区域内および農作物安全確保対策事業実施地域から試験圃場を



第1図 水稲生育停滞の発生状況（2010年）

選定した。

硫黄を含む肥料の処理方法は以下の3方法である。

①播種前石膏床土混和（以下、床土混和）：育苗用床土に石膏を均一に混合してから播種する（覆土には混合しない）。

②移植時石膏処理（以下、移植時処理）：移植直前に苗箱の上から一面に石膏を散布する。

③圃場への追肥（以下、硫マグ追肥）：生育停滞が発生し始めてから（6月中旬）、硫マグを圃場へ追肥する。

年次ごとの処理方法および石膏量は第1表のとおりである。なお、床土混和と移植時処理には苗の肥料濃度障害を防止するために水に溶けにくい石膏を使用し、本田追肥は速効性を期待し、水溶性の硫マグを使用した。

また、育苗はハウス育苗で、床土に用いた培土は山砂等を利用した農家自家製である。それぞれの圃場には石膏無処理苗も無処理区として移植した。

品種は2008年のNo8-1、8-2、8-3は「まなむすめ」、他はすべて「ひとめぼれ」である。

第1表 年次ごとの処理状況

年次	No	処理方法と石膏の量	圃場名
2006	6-1	移植時処理: 500g/箱	K22
	6-2		K24
	6-3		K29
	6-4		OMI-7
	6-5		OMI-8
2007	7-1	床土混和: 50g/箱	K20-1
	7-2	硫マグ追肥: 20kg/10a(6月18日)	
	7-3	床土混和: 50g/箱	A54-1
	7-4		FS-4
	7-5		OMI-7
	7-6		OMI-8
2008	8-1	床土混和: 50g/箱	K20-1
	8-2		K23
	8-3		K24
	8-4	床土混和: 80g/箱	A54-1
	8-5		O14-1
	8-6		FS-4
	8-7		OMI-7
	8-8		OMI-8
2009	9-1	床土混和: 80g/箱	K20-1
	9-2		K22
	9-3		K23
	9-4		OMI-7
	9-5		OMI-8
	9-6		A54-1
	9-7		

## 2. 床土混和による苗質への影響

2008年、2009年に苗質調査を行い、一部の苗ではマット強度を測定した。マット強度は、移植時の苗を育苗箱内で短辺方向に両端各5cmをカットしてから、幅10cmで切り出し、片端を動かさないように固定し、もう一方の端にバネばかりを固定し引っ張り、マットが裂けた時の目盛りの値とした。各区1箱を選び、箱あたり5回調査を行い、平均値をその区のマット強度とした。

## 3. 床土混和による圃場での硫黄吸収量

2009年7月9日に水稻を3株抜き取り、茎葉を乾燥後に微粉碎して、元素分析装置により、硫黄吸収量を測定した。

## 4. 床土混和が水稻生育・精玄米重に与える影響

2007年、2008年、2009年に床土混和处理苗を移植した圃場で、草丈・茎数の推移を調査した。また、2006年、2007年、2008年、2009年の各収穫期に坪刈りを行い精玄米重を測定した。

## 結果および考察

### 1. 床土混和による苗質への影響

2008年の1箱あたり石膏50gの床土混和は、無処理区（石膏無使用）に比べて、充実度がややまざる傾向にあった（第2表）。

一方、2009年の石膏80g床土混和は、多少の変動はあるが、苗のマット強度も含めて、苗質は無処理区と同程度であった。過剰処理を想定した石膏250g床土混和は、無処理区に比べて、草丈がやや抑制され、充実度がまさり、またマット強度は強まる傾向にあり、発根が促進されたと思われる。

第2表 床土混和による苗質への影響

年次	No	床土混和	草丈	葉数	充実度	根重(乾物)	マット強度
		g/箱	cm	枚	mg/cm <sup>2</sup> 本	g/100本	kg/10cm
2008	8-1・2・3	50	18.7	2.8	1.13	0.49	-
		0	19.2	2.5	0.99	0.41	-
	9-1・2・3	80	15.5	3.8	1.59	0.68	-
		0	14.7	3.4	1.67	1.07	-
2009	9-4・5	80	17.5	3.3	1.18	0.38	-
		0	17.4	3.2	1.18	0.49	-
	9-7	250	15.9	3.7	1.32	0.41	4.02
	9-6	80	17.0	3.8	1.10	0.39	3.58
0		17.5	3.8	1.18	0.34	3.62	

## 2. 床土混和による本田での硫黄吸収量

第3表に示す2009年7月9日の乾物重は、No9-1と9-6の80g床土混和区は、乾物重が無処理区より多いのに対し、No9-7の250g床土混和区は無処理区より少なかった。250g床土混和区は、苗で生育抑制が認められており、本田移植後も影響が残ったものと推察される。

No9-4では、移植時の苗質には差がなかったが、80g床土混和区が無処理区より乾物重が少なくなっている。これはこの圃場は、コンバイン収穫時の地耐力確保のため、5～10cmの浅い耕起と浅い代掻きを5年続けており、圃場内での耕起深の不均一による地力ムラが、特に床土混和区水稻の生育に影響を与えたためと考えられる。

第3表 床土混和による茎葉の硫黄吸収量  
(2009年7月9日)

No	床土混和 g/箱	硫黄 %(乾物)	乾物重 g/m <sup>2</sup>	硫黄吸収量 g/m <sup>2</sup>	生育停滞発 生状況1)	圃場名
9-1	80	0.48	310.4	1.49		K20-1
	0	0.17	248.4	0.43	**	
9-4	80	0.40	243.5	0.98		OMI-7
	0	0.18	296.8	0.53	**	
9-7	250	0.59	212.7	1.26		
9-6	80	0.37	319.5	1.18		A54-1
	0	0.43	230.4	0.99	*	

1) 生育停滞発生状況: \*\* : 著しい(乾物重が正常株の5割以下), \* : 軽微

辻の報告<sup>2)</sup>によれば、水稻茎葉の硫黄欠乏限界値(乾物あたり)は0.12%と推定しており、この状態の水稻に硫酸根を大量に含む複合肥料を7月28日に施用したところ、9日後には茎葉の硫黄濃度が0.28%まで増大し、単位面積あたりの乾物重も2倍程度まで回復したという。

宮城県北部で発生している水稻の生育停滞は、年次や圃場により発生程度が変動しているものの、2009年7月上旬のNo9-1とNo9-4の無処理区では生育停滞が著しく発生した(第3表)のに対して、No9-6は軽微な生育停滞が発生した程度であった。この時のNo9-6の茎葉硫黄濃度は、無処理区と80g床土混和区で同程度の0.43%と0.37%で、辻が示した硫黄欠乏限界値0.12%より高かった。生育停滞が著しく発生したNo9-1とNo9-4は、無処理区の茎葉の硫黄濃度が欠乏限界値に近く、床土混和を行った区は、辻が追肥を行い障害を回復させた場合の茎葉硫黄濃度(0.28%)より高くなっていた。圃場により生育停滞の発生程度に差があることにつ

いては、発生の著しい圃場は症状の軽微な圃場よりも可給態硫黄が元々少なかったこと、易分解性有機物が多いこと、または透水性が極端に不良なため作土層の還元が早く進み、土壤中の可給態硫黄が減少するのに加え、作土中の可給態硫黄が交換態カドミウムと結合し不溶化し、水稻が吸収できなくなるなどが原因である。生育停滞の発生が圃場によりいろいろな発生状況(第1図)を示すのは、土壤中の可給態硫黄の欠乏が局所的なのか圃場全体に至るのかによると思われる。

以上から、茎葉の硫黄濃度が欠乏限界値に近い場合は生育停滞が顕著に発生し、床土混和によって茎葉の硫黄濃度が欠乏限界値より高くなると、乾物重が増加するなど、生育が回復すると考えられた。

## 3. 床土混和が水稻の生育及び精玄米重にあたる影響

### 1) 茎数の推移・穂数

2007年6月22日のm<sup>2</sup>あたり茎数は5圃場全てが床土混和区で多く、m<sup>2</sup>あたり穂数は、無処理区より多いのが3、同程度が1、少ないのが1圃場となった(第4表)。2008年6月26日の床土混和区茎数は8圃場のうち6圃場で多く、穂数は、無処理区より多いのが4、同程度が1、少ないのが3圃場となった(第5表)。2009年6月23日の床土混和区茎数は5圃場中3圃場で多く、穂数は同程度が2、少ないのが3圃場であった(第6表)。

生育停滞の発生する圃場において、床土混和处理した苗を移植することにより、生育停滞の発生する6月中旬頃から分けつの発生が促進される。これは、作土層の還元が進むにつれて、土壤中の可給態硫黄が減少するが、床土混和した場合は、床土に処理された石膏から、硫黄が供給され、硫黄濃度が無処理区より高くなるためと考えられる(第3表)。また、7月上旬の中干しにより、作土層が酸化状態になることから、可給態硫黄が増加し、無処理区でも硫黄の吸収が進み、分けつが促進され茎数の増加につながるものと考えられる。一方、生育停滞が解消されない圃場は、中干しを実施しても、潜在的な可給態硫黄が少なかったり、重粘土壤等で透水性が極端に不良のため作土層の酸化が進まず、可給態硫黄が増加しないことによるのではないかと推察される。

## 2) 精玄米重

2007年の精玄米重では、床土混和区が無処理区より精玄米重が多かったのは、No7-4、7-3、7-1の3圃場であり、無処理区の精玄米重は、46.6kg/a以下であった(第4表)。

2008年では、床土混和区の精玄米重が多かったのはNo8-1とNo8-5で、無処理区精玄米重は53.9kg/aと51.3kg/aであり、他の6圃場と比較すると精玄米重レベルは同等～低い状態であった(第5表)。

2009年では、床土混和区の精玄米重が多かったのは試験を実施した圃場の中では無処理区の精玄米重が42.9～50.1kg/aと少ない2圃場であった(第6表)。

床土混和が穂数増加には直接つながらないが、6月中～下旬の茎数が増加し、早期に確保された茎が充実した穂の形成に結びつくことが、増収につながるのではないかと推察される。床土混和が増収に結びつかない圃場は、無処理区でも生育停滞が発生しないか、発生しても中干し後に回復する場合であると推察される。これは、無処理区の精玄米重が50kg/aを越す圃場であった。

2006～2009年の硫黄資材施用区の精玄米重を無処理区を100として比較したところ(第3図)、100を上回るのは、無処理区の精玄米重が50kg/aより少ない場合で、さらに、精玄米重が40kg/a以下になるほど、処理区精玄米重比が大きくなった。

また、床土混和が玄米カドミウム濃度にあたる影響はみられなかった(第4表、第6表)。なお、玄米カドミウム濃度が高くなったNo7-1とNo9-1(同一圃場：K20-1)は、No7-1が出穂後17日、No9-1が出穂後14日で早期落水したためと考えられた。

第4表 床土混和による茎数推移と精玄米重  
(2007)

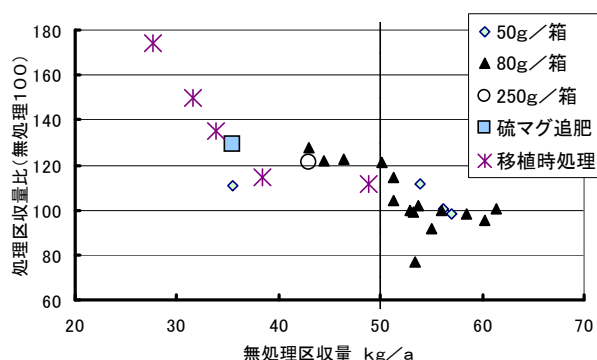
No	石膏施用 g/箱	6/12 本/m <sup>2</sup>	6/22 本/m <sup>2</sup>	7/3 本/m <sup>2</sup>	7/12 本/m <sup>2</sup>	穂数 本/m <sup>2</sup>	穂数比 (無処理100)	精玄米重 kg/a	精玄米重比 (無処理100)	玄米Cd mg/kg	圃場名
7-1	50	151	271	567	579	417	137	39.1	110	0.87	K20-1
	0	141	159	331	318	304		35.4		0.85	
7-3	80	213	418	631	618	418	85	54.1	122	0.05	A54-1
	0	178	331	664	529	490		44.5		0.05	
7-4	80	118	378	567	540	457	100	52.6	113	0.01	FS-4
	0	157	357	514	462	456		46.6		0.37	
7-5	80	115	266	461	458	426	104	55.8	100	0.02	OMI-7
	0	120	246	387	454	408		56.0		0.02	
7-6	80	139	323	435	461	391	107	52.8	100	0.01	OMI-8
	0	129	269	377	390	365		52.9		0.02	

第5表 床土混和による茎数推移と精玄米重  
(2008)

No	石膏施用 g/箱	6/13 本/m <sup>2</sup>	6/26 本/m <sup>2</sup>	7/8 本/m <sup>2</sup>	7/23 本/m <sup>2</sup>	穂数 本/m <sup>2</sup>	穂数比 (無処理100)	精玄米重 kg/a	精玄米重比 (無処理100)	圃場名
8-1	50	260	548	648	521	446	93	60.2	112	K20-1
	0	273	577	654	575	481		53.9		
8-2	50	247	627	740	645	555	127	56.0	98	K 23
	0	275	549	569	555	438		57.0		
8-3	50	205	586	682	576	517	119	56.5	101	K 24
	0	207	513	599	507	433		56.2		
8-4	80	241	535	649	580	468	93	61.9	101	A54-1
	0	214	514	635	671	505		61.4		
8-5	80	153	442	580	510	402	99	58.6	114	O14-1
	0	120	345	508	477	405		51.3		
8-6	80	135	401	598	590	542	136	57.3	98	FS-4
	0	93	338	489	493	399		58.5		
8-7	80	103	304	553	508	438	85	54.7	102	OMI-7
	0	118	352	569	544	515		53.7		
8-8	80	116	363	574	510	432	105	52.8	99	OMI-8
	0	101	263	473	460	412		53.3		

第6表 床土混和による茎数推移と精玄米重  
(2009)

No	石膏施用 g/箱	6/9 本/m <sup>2</sup>	6/23 本/m <sup>2</sup>	7/9 本/m <sup>2</sup>	穂数 本/m <sup>2</sup>	穂数比 無処理区100	精玄米重 kg/a	精玄米重比 無処理区100	玄米Cd mg/kg	圃場名
9-1	80	259	361	820	597	102	57.3	95	0.34	K20-1
	0	168	276	510	588		60.2		0.22	
9-4	80	165	305	468	440	97	50.8	92	0.03	OMI-7
	0	144	330	549	452		55.0		0.03	
9-2	80	200	333	541	467	83	53.3	104	0.04	K22
	0	197	320	596	562		51.2		0.02	
9-5	80	129	341	398	408	102	60.6	121	0.02	OMI-8
	0	99	210	378	398		50.1		0.01	
9-7	(参)250	-	-	-	-	-	51.9	121	0.04	
9-6	80	183	303	524	453	93	54.7	128	0.02	A54-1
	0	189	313	459	490		42.9		0.02	



第3図 石膏床土混和等による水稲増収効果  
(2006～2009)

### 3) 硫黄資材の処理量及び処理方法

無処理区の精玄米重が 50kg/a 以下になる場合は、床土混和では箱あたりの処理量にかかわらず精玄米重が上回っており、第6表の石膏 80 g 混和 (No9-6) で精玄米重 54.7kg/a、250 g 混和 (No9-7) で 51.9kg/a となったこと、および 250 g 混和では苗に生育抑制が認められたことから、80 g 以内で良いと考えられた。

また、移植時処理及び硫マグ追肥は、無処理区精玄米重比で 100 を上回っていた (第3図) ことから、床土混和同様に有効な方法と考えられる。

第7表 石膏床土混和等によるコスト試算

No	処理方法・量	使用量(10a)	資材単価(円/20kg袋)	資材費(円/10a)
1	床土混和:石膏50g/箱	50g×22箱=1.10kg	1,220	67
2	床土混和:石膏80g/箱	80g×22箱=1.76kg	1,220	107
3	移植時処理:石膏500g/箱	500g×22箱=11.0kg	1,220	671
4	硫マグ追肥:20kg/10a	20kg	1,610	1,610

床土混和と移植時処理、硫マグ追肥の資材コストを試算したところ (第7表)、床土混和が最も低コストであり、さらに、作業性も他の2方法と比較すると省力的であることから、生育停滞の技術対策を床土混和を中心とし、補完的な技術として、移植時処理と硫マグ追肥技術を位置づけるべきであると考えられる。

## 摘要

1. 宮城県北部のカドミウム汚染圃場で発生している水稲生育停滞を回避するため、播種前石膏 (硫酸カルシウム肥料) 床土混和、移植時石膏処理、硫マグ (硫酸マグネシウム肥料) 追肥の3処理方法で検討したところ、生育停滞の発生により精玄米重が 50kg/a を下回る圃場において、減収を回避する効果が認められた。

2. 著しい生育停滞が発生した水稲の茎葉硫黄濃度は欠乏限界値 (乾物あたり 0.12%) に近かったが、床土混和を実施し、生育停滞が回避された水稲の茎葉硫黄濃度は硫黄欠乏限界値より高まった。

3. 処理方法では、床土混和が最も低コスト・省力的であり、石膏混和量は箱あたり 50～80 g 程度が適当と考えられた。

## 引用文献

- 1) 辻藤吾 2000. 晩・早期水稲による水稲の初期生育抑制障害と障害に対する資材の施用効果. 土肥誌 71 (第4号): 454 - 463
- 2) 辻藤吾 2000. 水稲の硫黄欠乏による栄養障害と吸収特性. 土肥誌 71 (第4号): 464 - 471

## Summary

### Workaround of Growth Suppression of rice plants in Cadmium-Contaminated Paddy Fields

Kazuhide ONODERA, Hideyuki SHIMA and Eiichi HASEGAWA <sup>1)</sup>

In portion of some of the cadmium-contaminated paddy fields in north of Miyagi prefecture, the emergence of tillers of rice plants (*Oryza sativa* L.) was suppressed in June to such extent that the yield of rice decreased as a result of the sulfur deficiency. This study was conducted to develop an economical and effective method of preventing the sulfur deficiency in paddy fields. We examined three methods, namely, mixing calcium sulfate in the bed soil before seedling, applying calcium sulfate fertilizer in paddy fields simultaneously with transplanting, and topdressing magnesium sulfate in paddy fields in June. The method of mixing calcium sulfate in the bed soil before seedling was found to be better than other methods in terms of maintaining the emergence of tillers of paddy rice at an early growth stage and in terms of cost.