

酸性化多孔質ケイ酸カルシウム水和物のpHが水稻苗(*Oryza sativa* L.)の生育に及ぼす影響

誌名	日本作物學會紀事
ISSN	00111848
著者名	平内,央紀 渡邊,肇 三枝,正彦
発行元	日本作物學會
巻/号	77巻3号
掲載ページ	p. 253-258
発行年月	2008年7月

農林水産省 農林水産技術会議事務局筑波産学連携支援センター
Tsukuba Business-Academia Cooperation Support Center, Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council
Secretariat



研究論文

栽培

酸性化多孔質ケイ酸カルシウム水和物の pH が 水稲苗 (*Oryza sativa* L.) の生育に及ぼす影響

平内央紀¹⁾・渡邊肇²⁾・三枝正彦³⁾

(¹⁾ 東北大学大学院農学研究科附属複合生態フィールド教育研究センター, (²⁾ 新潟大学農学部, (³⁾ 豊橋技術科学大学)

要旨: 苗箱施用に適した酸性化多孔質ケイ酸カルシウム水和物 (APS: acidified porous hydrate calcium silicate) の pH を決定するため, pH を異にする APS の苗箱施用が水稲苗の生育に及ぼす影響を育苗試験で検討した. 処理区は APS の無処理区と pH 5.3, 3.9, 3.0 の APS を苗箱施用した APS 5.3, APS 3.9, APS 3.0 区とした. 床土 pH は施用した APS の pH が低いほど低下した. 水溶性および塩化カリウム抽出アルミニウムは床土の pH が低いほど増加し, APS 3.0 区で著しく多かった. APS 5.3, 3.9 区では水稲苗の乾物重, 充実度が無処理区に対して有意に高く, APS 3.0 区の水稲苗は草丈, 乾物重, 充実度が最も低かった. APS の苗箱施用により水稲苗のケイ素栄養の改善効果がみられたが, APS 3.0 区ではその効果が小さかった. APS 3.0 区の水稲苗の根はヘマトキシリン染色により濃紫色を呈し, 根へのアルミニウムの蓄積がみられた. 各 APS 処理区の播種 2 日後の苗の種子根をヘマトキシリンで染色した結果, APS 3.0 区では, 主に外皮や厚膜組織, 内皮等, 組織内部にアルミニウムの蓄積がみられた. エバンスブルー染色では APS 3.0 区の根の組織は相対的に青く染色され, 活性を失った細胞が多く認められた. これに対し APS 5.3, 3.9 では両染色結果から正常な生育を示した. 以上から, 水稲苗の適切な育成のためには, APS の pH を 3.9 ~ 5.5 に維持することが重要である.

キーワード: アルミニウム障害, エバンスブルー染色, 酸性化多孔質ケイ酸カルシウム水和物, 資材 pH, 水稲苗, 根, ヘマトキシリン染色.

水稲の収量確保, 品質向上を図るためには初期生育の促進が重要課題の一つであり, 品種改良や健苗の育成などでその対応がなされている. 特に, 我が国の水稲栽培においては古くから「苗半作」という言葉があるように, 健苗を育成することは重要視されている. 健苗の条件としては苗の地上部乾物重に対する草丈, すなわち充実度が大きいこと, また発根力が強いこと, 病斑がないことなどが挙げられる (松島 1982).

一方, 水稲はケイ素を多量に吸収し, ケイ素の施用が水稲の生育向上や病害発生の抑制に有効であることが知られている (高橋 1987). 近年, これらのことに着目し, 健苗育成の手段としてケイ酸資材の苗箱施用が検討されている. 藤井ら (1999) はシリカゲルの苗箱施用が, 水稲苗のケイ素含有率を高め, 苗質を向上させることを報告し, 早坂ら (2000), 早坂・藤井 (2001) は苗いもちの発生抑制に効果があることを報告している.

三枝ら (2003) は, シリカゲルは高価であることを指摘し, 安価でケイ素供給力に優れた建築廃材である多孔質ケイ酸カルシウム水和物 (PS: porous hydrate calcium silicate) を硫酸処理, 造粒した酸性化多孔質ケイ酸カルシウム水和物 (APS: acidified porous hydrate calcium silicate) を開発した.

そして APS の苗箱施用が水稲苗のケイ素栄養の改善, 苗質向上に有効であることを報告した (三枝ら 2003, Heinai ら 2005).

APS は, PS に硫酸と水を混合し, さらに硫酸の量を調整して pH を目標値まで低下させた後, アクリル系樹脂を添加して, 造粒・乾燥させて製造する. このように酸性化するのとは水稲育苗においては, 床土の pH が 5.5 より高い場合, ムレ苗等の病害発生を助長してしまう場合があるためである (柚木 1973). その一方で, 水稲は土壤の酸性条件に強い作物であるが, 岡山ら (1981) は著しく pH の低い床土の利用によりアルミニウム過剰害が発生した事例を報告している. また, 過リン酸石灰等の生理的酸性肥料の施用により床土の pH が低下し, 酸性障害が発生することも報告されている (長谷川ら 1989). 前述のように APS は硫酸を添加して製造するため, 資材の pH は添加する硫酸の量に依存し, pH が低すぎる場合には苗箱施用によって水稲苗のアルミニウム過剰害などの酸性障害が発生する懸念もある.

本研究では, APS の pH と水稲苗の生育との関係を明らかにすることを目的とし, pH の異なる APS の苗箱施用が水稲苗の地上部および根の生育に及ぼす影響を育苗試験で

第1表 供試した酸性化多孔質ケイ酸カルシウム水和物および床土の pH, 水溶性および塩化カリウム抽出アルミニウムおよび可給態ケイ素.

処理区	APS ^{*1} の pH	床土 pH	水溶性 Al	KCl 抽出 Al	可給態 Si ^{*3} g kg ⁻¹
			cmol _c kg ⁻¹		
無処理区	- ^{*2}	5.3	0.0	0.1	459
APS 5.3 区	5.3	5.0	0.0	0.3	708
APS 3.9 区	3.9	4.4	0.2	0.9	691
APS 3.0 区	3.0	3.4	13.3	19.0	680

^{*1} APS: 酸性化多孔質ケイ酸カルシウム水和物.

^{*2} APS 無処理のため APS の pH の値はなし.

^{*3} 可給態ケイ素はリン酸緩衝液抽出法による測定値.

検討した.

材料と方法

1. 育苗試験

育苗試験は宮城県大崎市東北大学大学院農学研究科附属複合生態フィールド教育研究センター (38° 44' N ; 140° 15' E) の育苗ハウスで行った. 供試品種にはひとめぼれ (*Oryza sativa* L. cv. Hitomebore) を, 供試培土は市販の無肥料培土 (いなほ化工社) を用いた. 供試資材には pH が 5.3, 3.9, 3.0 の APS を用いた. 育苗試験は 2003 年 4 月 30 日から同年 5 月 28 日まで行った. 育苗箱 (60 × 30 × 3 cm) 1 箱当りに催芽初を 125 g 播種した後, 30°C, 2 日間の加温出芽処理を行い, 育苗ハウスで中苗を育苗した. 肥培管理として化成肥料 (N : P₂O₅ : K₂O = 10 : 10 : 10) により窒素として 1 箱あたり 2 g 相当量を施肥した. また, 硫酸により窒素として 1 g 相当量を 2.5 葉期と 3.5 葉期に追肥した. pH 5.3, 3.9 および 3.0 の APS を床土に 25% の割合で混合し, それぞれ APS 5.3 区, APS 3.9 区, APS 3.0 区とし, これらに APS 無施用の無処理区を加えた計 4 処理区を設けた. 試験は 3 反復で行った.

育苗終了後, 苗質調査として各処理区の苗 10 本について草丈, 葉齢, 葉色を測定した. なお, 葉色は葉緑素計 (ミノルタ社, SPAD-501) を用いて第 4 葉を対象に測定した. 苗 100 本前後をサンプリングし, 70°C, 2 日間通風乾燥後に地上部および地下部の乾物重を測定した.

2. 床土の化学性および苗のケイ素含有率

床土の pH は, 床土ガラス電極法により測定した (亀和田 1997). 水溶性アルミニウム含量は, 床土 10 g に対して 50 mL の脱塩水を加えて 1 時間抽出後, 抽出液のアルミニウム濃度を原子吸光度計 (日立製作所, Z-6100) で測定した. 塩化カリウム抽出アルミニウム含量は, 1 mol L⁻¹ 塩化カリウム溶液で抽出後, 水溶性アルミニウムと同様に測定した (Barnhisel and Bertsch 1982). 床土の可給態ケイ素量は, 40 mmol L⁻¹ リン酸ナトリウム緩衝液 (pH 6.2) で抽出後, Weaver ら (1968) の方法に準じて分光光度計 (日立製作所, U-1500) で抽出液のケイ素濃度を測定して算出

した (加藤 2000).

水稻苗のケイ素含有率を求めるため, 乾物重測定後の水稻苗を微粉碎した試料について 1.5 mol L⁻¹ フッ化水素酸 - 0.6 mol L⁻¹ 塩酸で抽出した後, 抽出液のケイ素濃度を分光光度計で測定した (Saito ら 2005).

3. 水稻苗の根におけるアルミニウム障害の形態観察

各 APS 処理区における水稻苗の根へのアルミニウムの侵入と蓄積を観察するため, 育苗終了後の苗の根をサンプリングして以下の手順でヘマトキシリン染色を行い, 根の呈色状態を観察した. すなわち, 根を脱塩水で十分に洗浄して培土を除去し, 30 分間脱塩水に浸し, 0.2% ヘマトキシリン - 0.02% ヨウ素酸ナトリウム水溶液に 15 分間浸し脱塩水で洗浄後, さらに 30 分間脱塩水に浸した (Palle ら 1978). また APS の pH が根の組織形態に及ぼす影響を検討するため, 1. の育苗試験と同じ条件で苗を育苗した. 播種 2 日後に生育の中庸な水稻苗を各 APS 処理区について 15~20 個体サンプリングした. 各 APS 処理区の苗についてヘマトキシリン染色法で種子根を染色後, それぞれのサンプルについて種子根の根端から約 5 mm の組織片を切り出し, マイクロスライサー (Lab-Line Instruments 社, No.1225) を用いて横断切片を作成した. また各組織の細胞活性を調べるため, 種子根の横断切片を作成して, 2% エバンスブルー溶液で 10 分間染色した (Baker and Mock 1994). 根の組織標本は光学顕微鏡 (オリンパス社, BX-50) を用いて検鏡し, デジタルカメラ (オリンパス社, Camedia C-5060) で写真撮影を行った.

4. 統計解析

各 APS 処理区における水稻苗の苗質と地上部ケイ素含有率の平均値について, 統計解析ソフト (SAS 社, JMP 6) を用いて Tukey-Kramer's HSD 法によって多重比較し, 5% 水準で有意差検定を行った.

結果と考察

第 1 表に床土の pH, 水溶性および塩化カリウム抽出アルミニウムおよび可給態ケイ素量を示した. 床土の pH は

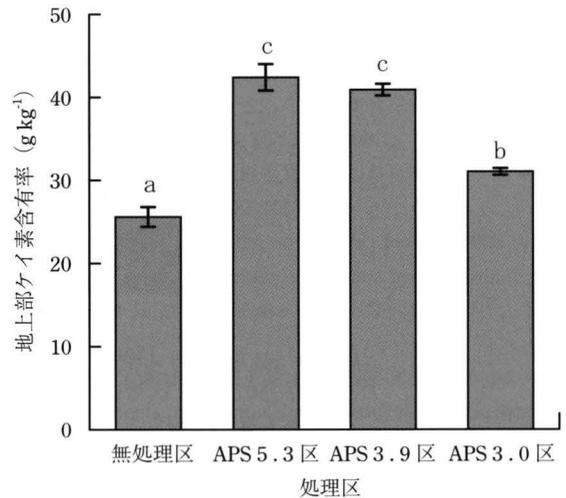
第2表 pHを異にする酸性化多孔質ケイ酸カルシウム水和物が水稲苗の形質に及ぼす影響.

処理区	草丈 (cm)	葉齢	葉色 (SPAD)	乾物重 (mg 本 ⁻¹)		充実度 (mg cm ⁻¹)
				地上部	地下部	
無処理区	16.5 b	4.4 a	29.4 a	19.3 b	4.3 b	1.2 b
APS 5.3 区	17.4 b	4.3 a	31.2 a	22.1 c	5.5 c	1.3 b
APS 3.9 区	16.4 b	4.3 a	30.2 a	21.1 bc	5.5 c	1.3 b
APS 3.0 区	14.9 a	4.2 a	32.4 a	15.7 a	3.5 a	1.0 a

異なるアルファベットは処理区間において5%水準で有意差があることを示す (n=3, Tukey-Kramer's HSD).

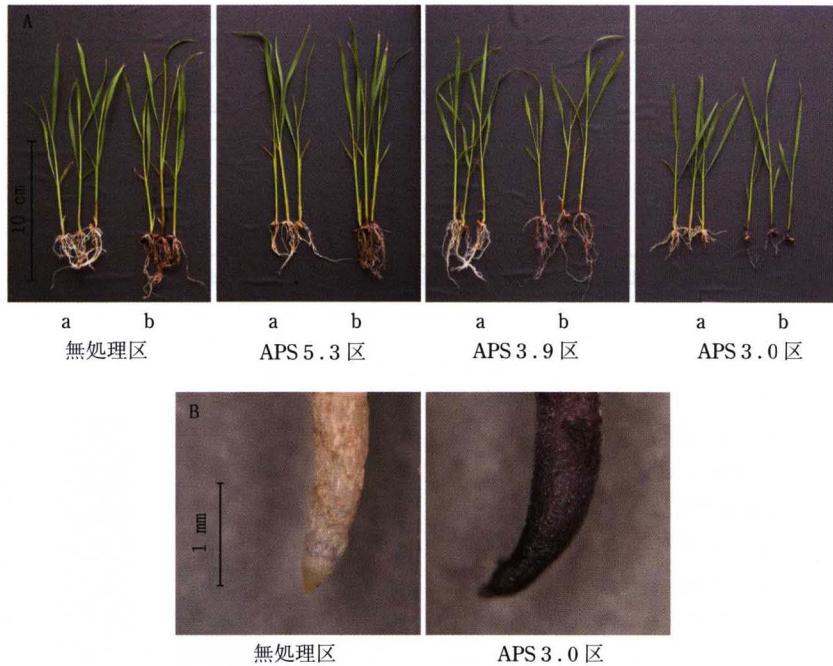
施用するAPSのpHが低下するに伴って低下した。APS 5.3区では、育苗培土と資材のpHが5.3であるにもかかわらず、床土のpHが5.0に低下した。APSの主成分はシリカゲルと石膏であることから(三枝ら2003)、石膏が溶解して溶液中のカルシウムイオン濃度が高まることで、育苗培土に吸着していた水素イオンとアルミニウムイオンが交換・浸出し(和田1997)、これらのイオン濃度が僅かに上昇したためと考えられる。水溶性アルミニウムは無処理区とAPS 5.3区では検出されず、APS 3.9区でも0.2 cmol_c kg⁻¹と低かったが、床土のpHが最も低いAPS 3.0区では13.3 cmol_c kg⁻¹と著しく高かった。塩化カリウム抽出アルミニウムは、床土のpHの低下に伴い増加し、APS 3.0区では19.0 cmol_c kg⁻¹と著しく高かった。塩化カリウム抽出アルミニウムは、一般的に土壤の交換性アルミニウムとして評価されるが(Barnhisel and Bertsch 1982)、本試験におけるAPS 3.0区の床土ではおよそ7割が水溶性として存在しており、交換性アルミニウムは塩化カリウム抽出アルミニウムから水溶性アルミニウムを差し引いた5.7 cmol_c kg⁻¹と算出された。APS 3.0区で床土の水溶性および塩化カリウム抽出アルミニウムが著しく多かったのは、床土が極強酸性化したことにより、育苗培土の粘土鉱物が破壊され、アルミニウムが溶解したためと考えられる。床土の可給態ケイ素量は、APSの施用により増加する傾向がみられ、前報(平内・三枝2006)と同様の傾向がみられた。APS施用区で比較すると、pHが低下するほど可給態ケイ素量はやや減少する傾向がみられた。APSはpHの低いものほど硫酸の添加量が多くなるため、全体量が増加してケイ素成分が希釈されたことが可給態ケイ素量に影響したと考えられた。

第2表に水稲苗の苗質調査の結果を示した。水稲の草丈は無処理区では16.5 cm、APS 5.3区では17.4 cm、APS 3.9区では16.4 cmであったが、APS 3.0区では14.9 cmと有意に低かった。葉齢と葉色は処理区間で有意差はみられなかった。苗1本当りの地上部乾物重は無処理区では19.3 mgであったが、APS 5.3区では22.1 mgと有意に増加し、APS 3.9区においても21.1 mgと有意ではないものの増加する傾向がみられた。しかし、APS 3.0区の地上部乾物重は、15.7 mgと無処理区に比べて有意に減少した。地下部乾物重はAPS 5.3区、APS 3.9区では5.5 mgと無処理区の4.3 mgに比べて有意に増加したが、APS 3.0

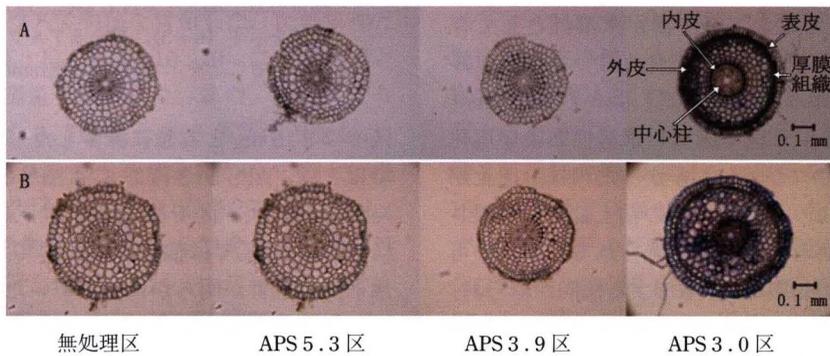


第1図 pHを異にする酸性化多孔質ケイ酸カルシウム水和物が水稲苗の地上部ケイ素含有率に及ぼす影響。エラーバーは標準誤差を示す (n=3)。異なるアルファベットは5%水準で有意差があることを示す (Tukey-Kramer's HSD)。

区では3.5 mgと有意に減少した。苗の充実度は無処理区では1.2、APS 5.3区およびAPS 3.9区では1.3であったが、APS 3.0区では1.0と有意に低かった。このようにAPS 3.0区では他の区に比べて水稲苗の地上部および地下部の生育が明らかに劣っていた。第1図に水稲苗の地上部ケイ素含有率を示した。水稲苗における地上部のケイ素含有率は無処理区に比べてAPS 5.3区およびAPS 3.9区ではそれぞれ66、60%有意に増加したが、APS 3.0区では21%と増加割合は著しく低かった。以上のように、APS 5.3区とAPS 3.9区では三枝ら(2003)の報告と同様に、水稲苗の生育向上とケイ素供給効果がみられたが、APS 3.0区では水稲苗の生育は抑制され、ケイ素供給効果は小さかった。この要因として、APS 3.0区では床土が極強酸性化したことで酸性障害が発生し、地下部の生育が制限されたことが考えられる。また、ケイ素供給効果の低下については床土の可給態ケイ素量の減少が影響していることも考えられるが、APS 3.0区では無処理区に対する水稲苗のケイ素含有率の増加割合と床土の可給態ケイ素量の増加割合の比が、APS 5.3区およびAPS 3.9区に比べて明らかに低いため、可給態ケイ素量の減少では説明できない。APS 3.0区では酸性障害の影響により水稲苗のケイ素吸収が抑制された可能性が考えられる。



第2図 pHを異にする酸性化多孔質ケイ酸カルシウム水和物が水稻苗の地上部および地下部の生育とヘマトキシリン染色に及ぼす影響. Aは各APS処理区の水稲苗の全体写真, a:染色前, b:ヘマトキシリン染色後. Bは播種2日後におけるヘマトキシリン染色後のAPS無処理区とAPS3.0区の水稲苗の種子根の拡大写真.



第3図 pHを異にする酸性化多孔質ケイ酸カルシウム水和物が水稻苗の種子根のアルミニウム蓄積および細胞活性に及ぼす影響. 種子根は播種2日後の水稲苗からサンプリングした. A:ヘマトキシリン染色, B:エバンスブルー染色.

育苗終了後のAPS3.0区の水稲苗は他の処理区に比べて地上部および地下部の生育が顕著に抑制されていた(第2図). 酸性土壌における植物への生育阻害の要因としては, リンやカルシウム, マグネシウム等の供給量の低下, 水素, マンガン, アルミニウムイオン等の過剰害, 植物の有用微生物の活性低下や有害微生物の活性化などが考えられているが(Adams 1984), 一部の土壌を除いてアルミニウム過剰害が最も重要な阻害要因として考えられている(三枝 1991). 今回の試験においてもAPS3.0区では根の伸長の抑制, 根の太さの増大, 一部分が褐色化するなど典型的なアルミニウム過剰害の症状を示していた(Foy 1974). 水稲

苗の根をヘマトキシリン染色した結果, 無処理区, APS5.3区, APS3.9区ではヘマトキシリン染色試薬の色である暗赤色をわずかに呈したものの, アルミニウムの存在を示す紫色は殆ど呈さなかった. それに対してAPS3.0区の水稲苗の根はヘマトキシリン染色により濃紫色を呈し, 根へのアルミニウムの蓄積が顕著に観察された.

播種2日後の種子根の横断切片は, ヘマトキシリンにより表皮から内皮にかけて紫色に染色され, 根の内部へのアルミニウムの蓄積が認められた(第3図). Ishikawaら(2003)は, アルミニウムを含む水耕液($20\mu\text{mol L}^{-1}$)を用いて水稲の栽培試験を行い, 表皮や皮層の外側にアルミニウムの

蓄積が観察されたことを報告している。しかしながら本試験においては、APS 3.0 区の水稲根の表皮や皮層の外側の外皮および厚膜組織だけでなく、内皮への著しいアルミニウムの蓄積が観察された。本試験における APS 3.0 区の水溶性アルミニウム量は $13.3 \text{ cmol}_e \text{ kg}^{-1}$ と極めて高かったために、根組織のより内部までアルミニウムが侵入したものと考えられる。外皮と厚膜組織は前述のように皮層の外側に、内皮は最も内側に存在する。これらにアルミニウムの蓄積がみられることは、皮層の内部や中心柱にアルミニウムが侵入するのを防いでいるものと考えられる。しかし、この点については外皮や厚膜組織、内皮におけるアルミニウムの蓄積の状態を詳細に調べるとともに、その生理機構等について検討する必要がある。各 APS 処理区における水稲苗の根の横断切片をエバンスブルーで染色した結果、APS 3.0 区の水稲苗の根の細胞は他の処理区に比べ、組織全体が相対的に青色を呈した。エバンスブルーは細胞が死して細胞膜の選択的な透過性が失われると細胞内に侵入し、細胞を青色に染色する (Baker and Mock 1994)。このことから APS 3.0 区では水稲苗の根は活性を失っている細胞が多いことがわかる。アルミニウムが細胞表層へ結合すると、ミトコンドリアの機能低下と活性酸素の発生を誘発し、これらが細胞伸長・増殖を抑制すると考えられている (Yamamoto ら 2002, 2003)。このことから APS 3.0 区の水稲根の細胞活性の消失はアルミニウム過剰障害による可能性が高いと考えられる。水稲の高いケイ素吸収能は、根の働きによるものであることが知られており (奥田・高橋 1962)、また Ma ら (2006, 2007) は、水稲根に 2 つのケイ素輸送体が存在することを明らかにしている。APS 3.0 区では、過剰なアルミニウムにより水稲苗の根の組織が障害を受けたために、ケイ素吸収が阻害されて苗のケイ素含有率が低下したものと考えられる。

このように、APS 3.0 区では床土の極強酸性化に伴い粘土鉱物の破壊によりアルミニウムが溶解し、水稲根がアルミニウム過剰障害を受けたため、生育やケイ素吸収が影響を受けたと考えられる。

以上より、酸性化多孔質ケイ酸カルシウム水和物の pH が 3.9~5.3 の範囲では水稲苗の生育を促進し、苗箱施用に伴う酸性障害は発生しないことが明らかとなった。床土 pH は病害発生を抑制するために 5.5 以下が適値とされているので (柚木 1973)、酸性化多孔質ケイ酸カルシウム水和物を苗箱施用する場合、その pH は 3.9~5.5 に維持することが重要であると考えられる。

引用文献

- Adams, F. 1984. Crop response to lime in the Southern United States. In Adams, F. ed., Soil acidity and liming. 2nd edition. American Society of Agronomy Inc., Madison. 211 - 265.
- Baker, C.J. and N. Mock 1994. An improved method for monitoring cell death in cell suspension and leaf disc assay using Evans blue. Plant Cell Tissue Organ Cult. 39 : 7 - 12.
- Barnhisel, R. and P. M. Bertsch 1982. Aluminum. In Page, A.L., R.H. Miller and D. R. Keeney eds., Method of Soil Analysis. Part 2. 2nd Edition American Society of Agronomy Inc., Madison. 275 - 300.
- Foy, C.D. 1974. Effects of aluminum on plant growth. In Carson, E.Q. ed., The plant root and its environment. Univ Press Virginia, Charlottesville. 601 - 642.
- 藤井弘志・早坂剛・横山克志・安藤豊 1999. シリカゲルの苗箱施用が水稲苗の活着及び初期生育に及ぼす影響. 土肥誌 70 : 785 - 790.
- 長谷川榮一・水多昭雄・泉澤弘子・佐々木都彦 1989. 水稲育苗床土の pH の推移. 土肥要旨集 35 : 264.
- 早坂剛・藤井弘志・安藤豊・生井恒雄 2000. イネ苗いもちのケイ酸資材シリカゲル育苗土混和による発病抑制. 日植病報 66 : 18 - 22.
- 早坂剛・藤井弘志 2001. 苗いもちのケイ酸資材シリカゲル育苗土混和による発病抑制. 植物防疫 55 : 102 - 105.
- 平内央紀・三枝正彦 2006. 水稲育苗培土の可給態ケイ素量とケイ酸資材の施用効果. 土肥誌 77 : 41 - 46.
- Heinai, H., M. Saigusa, H. Okazaki and K. Yoshida 2005. Effect of acidified porous hydrate calcium silicate and porous hydrate calcium silicate applied on growth of rice plants (*Oryza sativa* L.). Soil Sci. Plant Nutr. 51 : 961 - 966.
- Ishikawa, S., T. Wagatsuma and T. Ikarashi 2003. Rapid changes in levels of mineral nutrients in root-tip cells following short-term exposure to aluminium. Plant Soil 255 : 245 - 251.
- 加藤直人 2000. pH 6.2 のリン酸緩衝液抽出による水田土壌の可給態ケイ酸の簡易評価法. 総合農業の新技术 13 : 146 - 150.
- 亀和田國彦 1997. 第 V 章 土壌化学, 1. pH. 土壌環境分析法編集委員会編, 土壌環境分析法. 博友社, 東京. 195 - 197.
- Ma, J. F., N. Yamaji, N. Mitani, K. Tamai, S. Konishi, T. Fujiwara, M. Katsuhara and M. Yano 2006. A silicon transporter in rice. Nature 440 : 688 - 691.
- Ma, J. F., N. Yamaji, N. Mitani, K. Tamai, S. Konishi, T. Fujiwara, M. Katsuhara and M. Yano 2007. An efflux transporter of silicon in rice. Nature 448 : 209 - 212.
- 松島省三 1982. 稲作の改善と技術. 養賢堂, 東京. 233 - 236.
- 奥田東・高橋英一 1962. 作物に対するケイ酸の栄養生理的役割 (第 8 報) 水稲における特異的ケイ酸吸収性. 土肥誌 33 : 217 - 221.
- 岡山清司・吉野喬・鎌仲一夫・飯田周治 1981. 水稲育苗床土に発生するアルミニウム過剰障害の改良方法. 富山農試研報 12 : 51 - 54.
- Palle, E., C.F. Konzak and J.A. Kittrick 1978. Visual detection of aluminum tolerance levels in wheat by hematoxylin staining of seedling roots. Crop Sci. 18 : 823 - 827.
- 三枝正彦 1991. 低 pH 土壌における作物の生育. 植物有害 Al と下層土のエダフォロジー. 土肥誌 62 : 451 - 459.
- 三枝正彦・平内央紀・渋谷暁一・岡崎仁志・吉田一男 2003. 酸性化多孔質ケイ酸カルシウム水和物の苗箱施用が水稲苗の生育・養分吸収に及ぼす影響. 土肥誌 74 : 333 - 337.
- Saito, K., A. Yamamoto, S. Tongmin and M. Saigusa 2005. Rapid, micro-methods to estimate plant silicon content by dilute hydrofluoric acid extraction and spectrometric molybdenum method. I. Silicon in rice plants and molybdenum yellow method. Soil Sci. Plant Nutr. 51 : 29 - 36.
- 高橋英一 1987. ケイ酸植物と石灰植物 作物の個性をさぐる. 農文協, 東京. 86 - 97.

- 和田信一郎 1997. 土壌の化学性. 久間一剛編, 最新土壌学. 朝倉書店, 東京. 73-95.
- Weaver, R.M., J.K. Syers and M.L. Jackson 1968. Determination of silica in citrate-bicarbonate-dithionite extracts of soils. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 32 : 497-501.
- Yamamoto, Y., Y. Kobayashi, S.R. Devi, S. Rikiishi and H. Matsumoto 2002. Aluminum toxicity is associated with mitochondrial dysfunction and the production of reactive oxygen species in plant cells. *Plant Physiol.* 128 : 63-72.
- Yamamoto, Y., Y. Kobayashi, S.R. Devi, S. Rikiishi and H. Matsumoto 2003. Oxidative stress triggered by aluminum in plant roots. *Plant Soil* 255 : 239-243.
- 柚木利文 1973. イネ苗立枯病の防除. *植防* 27 : 197-200.

Effects of Acidified Porous Hydrate Calcium Silicate at Various pHs Applied to Nursery Bed Soil on the Growth of Rice Seedlings (*Oryza Sativa* L.) : Hironori HEINAI¹⁾, Hajime WATANABE²⁾ and Masahiko SAIGUSA³⁾ (^{1)Field Sci. Center, Grad. Sch. Agr. Sci., Tohoku Univ. Osaki 989-6711, Japan;} ^{2)Fac. of Agr., Niigata Univ. ;} ^{3)Toyohashi Univ. of Tech.})

Abstract : We have developed acidified porous hydrate calcium silicates (APS) with the final pH of 3.0, 3.9 or 5.3 by adding of sulfuric acid to porous hydrate calcium silicate material. In this study, the effects of APS at various pHs applied to nursery bed soil on the growth of rice seedlings were investigated to determine the optimal pH of APS as an ameliorant for raising healthy rice seedlings. APS at pH 3.0 decreased the plant length of the seedlings by 10 to 15% compared to that at other pHs. Treatment with the APS at pH 3.0 decreased both shoot dry weight, and the ratio of shoot dry weight to the plant length of the seedlings. The root dry weight was the lightest in the seedlings treated with APS at pH 3.0; these root tissues, especially exodermis, sclerenchyma and endodermis, were intensively stained with hematoxylin and evans blue, showing the symptom of Al toxicity.

Key word : Acidified porous hydrate calcium silicate, Al toxicity, Evans blue staining, Material pH, Hematoxylin staining, Rice seedling, Root.
