

土耕栽培におけるかんがい水中のフッ素とイネの生育との関係

山内正見^{*1)}・吉田弘一²⁾・谷山鉄郎¹⁾・梅崎輝尚¹⁾・長屋祐一¹⁾

(¹⁾三重大学・²⁾松阪大学)

要旨: フッ素 2 ppm を含む培養液を用いた水耕栽培でイネの生育は抑制され、根から吸収されたフッ素はイネの体内に蓄積された。フッ素の土壌による吸収力は特異的に大きいことが知られている。そこで土耕栽培によるイネの生育に及ぼすかんがい水中フッ素の影響を検討した。水稻品種コシヒカリの土耕栽培ではフッ素濃度が 0, 5, 10, 20, 30, 50 および 100 ppm の 7 水準のかんがい水を用いた。その結果、土耕栽培においてフッ素 5~30 ppm のかんがい水はイネの出葉、草丈および分げつ数にほとんど影響を及ぼさなかったが、フッ素 50 および 100 ppm のかんがい水は分げつ数を抑制することが明らかとなった。フッ素 100 ppm の上位第 2 および 3 葉の光合成速度は低下したが、葉身中のクロロフィル含量に影響はみられなかった。1 株当たり穂数および 1 株当たり粒数はフッ素 50 ppm で低下の傾向を示し、フッ素 100 ppm で有意に減少した。粒および葉鞘(稈を含む)の乾物重はフッ素 50 および 100 ppm で有意に低下することがわかった。

キーワード: イネ, かんがい水, 光合成速度, 生育, 土耕栽培, フッ素。

フッ素ガスによるイネの地上部への暴露処理によってイネの生育に著しい影響を及ぼすことを山添(1962)は明らかにし、市倉ら(1970)および松岡ら(1972)は大気汚染物質としてフッ素ガスによるイネの被害を報告した。勝見ら(1980)は低濃度のフッ素ガスを長期間暴露させてイネの生育および体内のフッ素の蓄積を検討した。イネの生育に及ぼすかんがい水中フッ素の影響について、山添(1962)はフッ素 20 ppm, 処理期間 20 日間の水耕実験によってイネの葉身、葉鞘および根の乾物重が減少することを明らかにした。著者ら(2000 a)はフッ素濃度が 0~50 ppm 7 水準の水耕液でコシヒカ리를栽培し、イネの生育に及ぼすフッ素の影響を検討した。その結果、5 および 10 ppm のフッ素はイネの出葉、草丈および分げつを抑制し、1 株当たり穂数、1 株当たり粒数もフッ素によって大きく減少することを示した。また、粒、葉身、葉鞘(稈を含む)および根の乾物重に及ぼすフッ素の影響は顕著であった。さらに、著者ら(2000 b)はフッ素濃度が 0~6 ppm の 4 水準の水耕液でコシヒカ리를栽培し、イネの生育に及ぼす低濃度域のフッ素の影響を検討した。その結果、2 ppm のフッ素はイネの草丈および分げつを抑制し、1 株当たり穂数および 1 株当たり粒数も減少した。収穫期における粒、葉身、葉鞘(稈を含む)および根の乾物重はフッ素によって明らかに減少した。経根的に吸収されたフッ素は根部だけではなく玄米を含むすべての器官に蓄積されることを示した。近年先端産業である IC や液晶体の製造ならびに金属の表面処理などに広く利用されているフッ化物は放流水中にフッ素として 3~14 ppm も含まれていることが報告されており(半野・松崎 1988)、河川ひいてはかんがい水への汚染が危惧される。フッ素は土壌中に広く分布して、土壌中に十数 ppm から、多い場合数百 ppm が含まれている。土壌中のフッ素は不溶性なので経根的な吸収は微量であり、植物へのフッ素の移行性はチャやツバキなど一部の植物を

除いて低い(山田・服部 1979)とされる。また土壌はフッ素の吸収力が特異的に大きいことが知られている(結田ら 1975)。本報では実際の水田を想定した土耕栽培におけるかんがい水中のフッ素濃度とイネの生育の関係を明らかにしようとした。

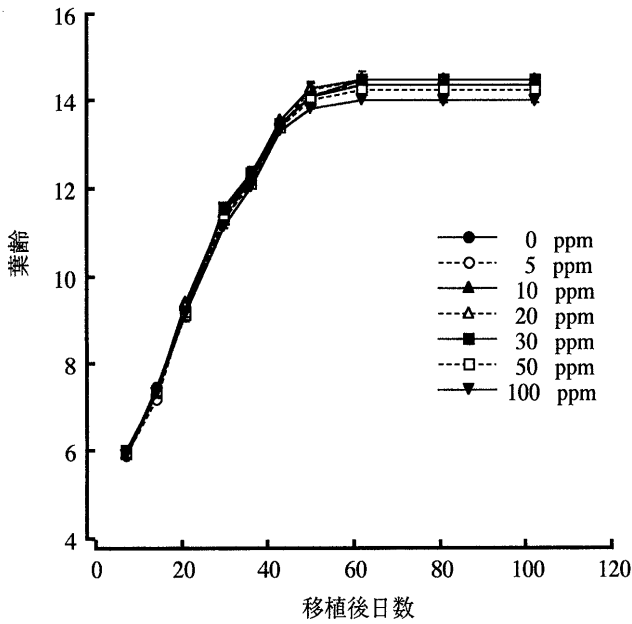
材料と方法

1. 土耕栽培とフッ素処理方法

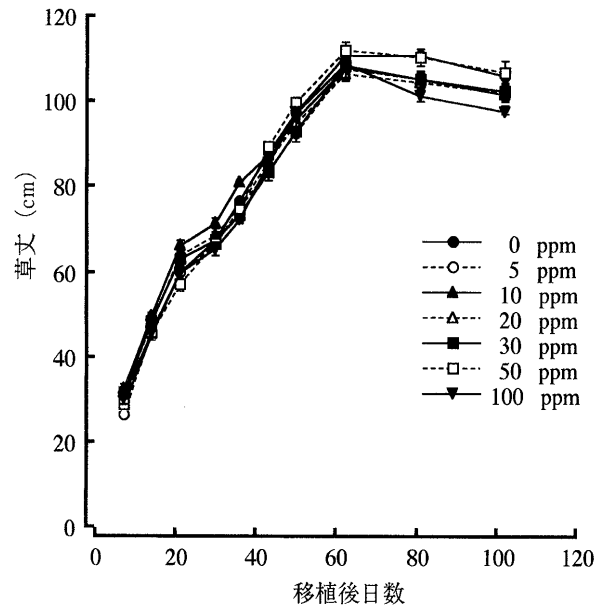
水稻品種コシヒカ리를供試してみのポット(直径上 16 mm, 下 13 mm, 高さ 25 mm)を用い、1990 年 5 月 23 日に 1 穴 1 粒ずつ播種し、ガラス室内で栽培した。同年 6 月 26 日に生育のそろった 5.5 葉苗を 5000 分の 1 アール・ワグネルポットに未耕の粘土質の山土(フッ素含量は 18.2 ppm, w/w) 約 6.5 kg を充填し、1 ポット当たり 1 本植えて移植した。化成肥料(N:P₂O₅:K₂O=10:6:8)は 1 ポット当たり 10 g 施肥した。イネは活着するまで水道水でかん水し、完全に活着した 7 月 5 日からフッ素処理を開始した。フッ素処理液として用いたかんがい水は水道水に 10% フッ化水素酸を添加して調整した。フッ素濃度は、フッ素として 0, 5, 10, 20, 30, 50 および 100 ppm (w/w) とした。フッ素処理用のかんがい水は 1 N NaOH で pH 5.0~5.5 に調整したのち、1 ポット当たり 500~600 mL を給水し、常時湛水状態を保った。かんがい水中のフッ素濃度は所定の濃度であることを確認した。かんがい水中のフッ素の定量方法はイオンメータ(東亜電波工業製, IM-40 S 型)を用い、イオン電極法(JIS K 0102 1986)によって定量した。実験は 1 区 7 ポットの 8 反復とした。

2. 測定項目と方法

葉齢、草丈、1 株当たり分げつ数は移植後 7 日目の 7 月 2 日から調査を開始し、その後 7~10 日間隔でおこなった。光合成速度は携帯用光合成蒸散測定器(島津製作所製、



第1図 イネの出葉経過に及ぼすフッ素の影響。
図中の縦棒は標準誤差を示す。
値の小さいものは記号の大きさ以下で、記号の中に隠れている。



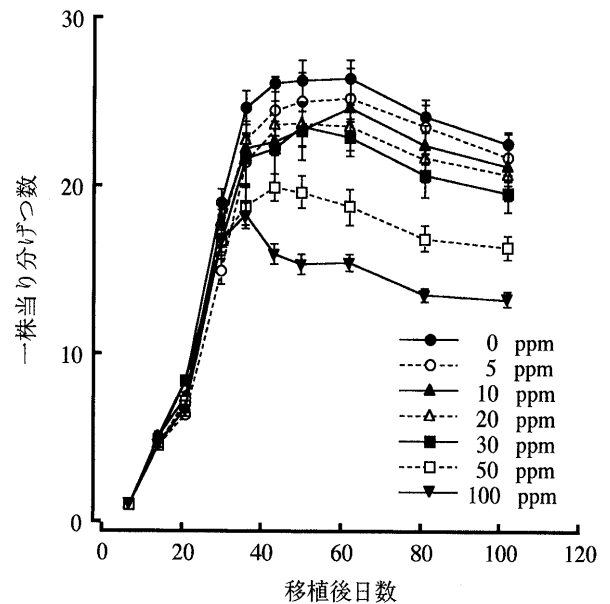
第2図 イネの草丈に及ぼすフッ素の影響。
図中の縦棒は標準誤差を示す。
値の小さいものは記号の大きさ以下で、記号の中に隠れている。

SPB-H 2 A) を用いて測定した。リーフチャンバは面積 3.3 cm^2 を使い、 $250.0 \text{ mL min}^{-1}$ の空気の流量で測定した。測定は移植後 52 日目に展開が完了した上位第 1~3 葉 (以下上位第 1~3 葉と称す) を対象に、快晴の自然光下で 11 時から 14 時まで $1800 \sim 2000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ の光状態でおこなった。葉色はフジ・グリーンメーター (富士フィルム製, GM-1 型) を用いて測定した。葉色の値とクロロフィル含量との検量線を求め、クロロフィル含量として換算した。測定は光合成速度に用いた上位第 1~3 葉を移植後 52 日目におこなった。収穫後イネは 1 株当たり穂数を測定し、直ちに籾、葉身および葉鞘 (籾を含む) に分け、約 80°C で 30 分、約 65°C で 48 時間以上通風乾燥し、デシケータで放冷後 10 月 12 日に乾物重を測定した。ただし、葉身および葉鞘 (籾を含む) の枯死したものは除外した。乾物重を測定したあと、1 穂籾数を数えた。各処理区のデータについて Sheffé の多重検定を用いて評価を行った。土壌のフッ素分析は千葉県水質保全研究所の方法 (注: 千葉県水質保全研究所, 水保研資料 No. 15 1979) による。

結 果

1. イネの生育に及ぼすフッ素の影響

出穂は移植後 61~62 日目の 8 月 25~26 日であった。フッ素処理による出穂時期への影響は認められなかった。出葉経過、草丈および 1 株当たり分けつ数の経時変化を第 1~3 図に示した。出葉経過には対照区とフッ素処理区間にほとんど差はみられなかった (第 1 図)。移植後 62 日目の出穂期までの草丈には対照区とフッ素処理区間にほとんど差は認められなかった (第 2 図)。出葉経過や草丈に比べて 1 株当たり分けつ数に及ぼすフッ素の影響は明らかで、



第3図 イネの 1 株当たり分けつ数に及ぼすフッ素の影響。
図中の縦棒は標準誤差を示す。

フッ素処理濃度による抑制の程度に差異が認められた。移植後 102 日目のフッ素 5~30 ppm の 1 株当たり分けつ数は対照区に比べ軽微であった。フッ素 50 ppm の 1 株当たり分けつ数は対照区の 73% に、フッ素 100 ppm では対照区の 59% に、いずれも分けつ数は抑えられ、フッ素濃度の高いほど分けつ数は少なかった (第 3 図)。これらのことから土耕栽培におけるかんがい水中の 30 ppm 以下のフッ素は出葉、草丈および分けつにほとんど影響を及ぼさなかったが、50 および 100 ppm のフッ素は分けつ数を著しく抑制することがわかった。

2. イネ個葉の光合成速度およびクロロフィル含量に及ぼすフッ素の影響

イネ個葉の光合成速度に及ぼすフッ素の影響を第1表に示した。光合成速度を上位第1葉、2葉および3葉の葉位別にみると、上位第1葉はフッ素濃度と光合成速度には関係は認められなかった。上位第2葉はフッ素5~50 ppmにおいて光合成速度に差はみられなかったが、フッ素100 ppmの光合成速度は対照区に比べ有意に低下した。上位第3葉はフッ素5~50 ppmの光合成速度に差は認められなかったが、フッ素100 ppmの光合成速度は対照区の光合成速度の65%まで有意に低下した。フッ素100 ppmの上位第1葉では光合成速度に差はみられなかったが、上位第2葉と上位第3葉では光合成速度を抑制した。

イネ葉身中のクロロフィル含量に及ぼすフッ素の影響を第2表に示した。クロロフィル含量を上位第1葉、第2葉および第3葉の葉位別にみると、上位第1葉、第2葉そして第3葉の対照区のクロロフィル含量とフッ素処理区間のクロロフィル含量に差は認められなかった。

3. イネの生育量に及ぼすフッ素の影響

イネの土耕栽培の1株当たり穂数、1株当たり籾数および1穂籾数を第3表に示した。1株当たり穂数はフッ素5~30 ppmでは対照区と差はなかったが、フッ素50 ppmの1株当たり穂数は対照区の85%で減少の傾向を示し、フッ素100 ppmの1株当たり穂数は対照区の70%まで有意に減少した。1株当たり籾数はフッ素5~30 ppmでは対照区と差はなかったが、フッ素50 ppmの1株当たり籾数は対照区の89%で減少の傾向を示し、フッ素100 ppmの1株当たり籾数は対照区の72%まで有意に減少した。1穂籾数はフッ素による影響は認められなかった。

収穫時における各器官の乾物重に及ぼすフッ素の影響を第4表に示した。籾の乾物重はフッ素5~30 ppmでは対照区と差はなかったが、フッ素50 ppmの籾の乾物重は対照区の82%に、フッ素100 ppmの籾の乾物重は56%に有意に減少した。葉身の乾物重はフッ素5~50 ppmでは対照区と差はなかったが、フッ素100 ppmの葉身の乾物重

第1表 イネの完全展開上位第1葉から上位第3葉の光合成速度に及ぼすフッ素の影響。

フッ素濃度 (ppm)	上位第1葉 ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	上位第2葉 ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	上位第3葉 ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)
0	20.5 ± 0.9a	22.3 ± 0.6a	19.8 ± 0.8a
5	20.3 ± 1.2a	21.5 ± 1.0a	20.1 ± 0.8a
10	19.0 ± 0.4a	20.4 ± 0.7a	19.8 ± 1.3a
20	19.1 ± 0.3a	19.9 ± 0.3ab	19.2 ± 0.3a
30	18.8 ± 0.4a	20.3 ± 0.4a	19.6 ± 0.3a
50	17.5 ± 0.5a	20.4 ± 0.8a	16.6 ± 1.3ab
100	17.6 ± 0.8a	17.1 ± 0.6b	12.8 ± 1.4b

数字は平均値±標準誤差 (n=4) を示す。

移植後52日目に測定した。

同一文字を付した値の間には5%水準で有意差のないことを示す(Shefféの多重検定による)。

第2表 イネの完全展開上位第1葉から上位第3葉のクロロフィル含量に及ぼすフッ素の影響。

フッ素濃度 (ppm)	上位第1葉 (mg dm^{-2})	上位第2葉 (mg dm^{-2})	上位第3葉 (mg dm^{-2})
0	7.3 ± 0.1	8.0 ± 0.1	7.9 ± 0.2
5	7.2 ± 0.1	8.1 ± 0.3	7.9 ± 0.2
10	7.2 ± 0.1	7.8 ± 0.2	7.9 ± 0.2
20	7.1 ± 0.2	7.7 ± 0.1	7.9 ± 0.1
30	7.3 ± 0.3	7.9 ± 0.2	7.7 ± 0.2
50	7.1 ± 0.3	7.9 ± 0.2	7.8 ± 0.1
100	7.2 ± 0.2	8.0 ± 0.1	7.6 ± 0.2

数字は平均値±標準誤差 (n=4) を示す。

移植後52日目に測定した。

フッ素処理区間には統計的に有意な差はなかった。

第3表 イネの収穫期における1株当り穂数, 1株当り籾数および1穂籾数に及ぼすフッ素の影響。

フッ素濃度 (ppm)	1株当り穂数	1株当り籾数	1穂籾数
0	20.1 ± 0.6a	1641.5 ± 87.8a	81.5 ± 3.3a
5	20.3 ± 1.7a	1605.0 ± 94.1a	80.5 ± 2.7a
10	20.6 ± 1.1a	1723.2 ± 56.3a	84.5 ± 3.2a
20	21.0 ± 1.2a	1697.2 ± 73.1a	81.6 ± 3.0a
30	19.2 ± 1.3a	1600.2 ± 84.4a	84.2 ± 3.4a
50	17.1 ± 0.9ab	1453.0 ± 61.3ab	85.3 ± 2.3a
100	14.1 ± 0.4b	1180.2 ± 47.9b	84.0 ± 3.6a

数字は平均値±標準誤差 (n=8) を示す。

同一文字を付した値の間には5%水準で有意差のないことを示す (Scheffé の多重検定による)。

第4表 イネの収穫期における器官別乾物重に及ぼすフッ素の影響。

フッ素濃度 (ppm)	器官別乾物重		
	籾 (g/株)	葉身 (g/株)	葉鞘 (稈を含む) (g/株)
0	30.2 ± 1.5a	5.4 ± 0.6a	18.0 ± 0.5a
5	29.5 ± 2.2a	5.4 ± 0.7a	17.3 ± 0.7a
10	30.6 ± 1.2a	5.5 ± 0.4a	17.2 ± 1.9a
20	30.0 ± 1.1a	5.6 ± 0.3a	17.5 ± 0.6a
30	28.3 ± 1.3ab	5.6 ± 0.4a	17.5 ± 0.9a
50	24.8 ± 0.7b	4.6 ± 0.3a	12.3 ± 0.7b
100	16.9 ± 1.1c	0.4 ± 0.1b	4.0 ± 0.4c

数字は平均値±標準誤差 (n=8) を示す。

同一文字を付した値の間には5%水準で有意差のないことを示す (Scheffé の多重検定による)。

は対照区の7%に有意に減少した。葉鞘 (稈を含む) の乾物重はフッ素5~30 ppm は対照区と差はなかったが、フッ素50 ppm の葉鞘 (稈を含む) の乾物重は対照区の68%に、100 ppm の葉鞘 (稈を含む) の乾物重は22%に有意に減少した。

考 察

本実験は土耕栽培でかんがい水中のフッ素濃度0~100 ppmの7水準とし、イネの生育に及ぼすフッ素の影響を検討した。その結果、50および100 ppmのフッ素は1株当り分けつ数を抑制した。50および100 ppmのフッ素は1株当り穂数および1株当り籾数を低下させ、また収穫時の籾、葉身および葉鞘 (稈を含む) の乾物重も減少させた。イネの生育量がフッ素処理によって低下したのは、分けつ数が抑制されたことによると考えられた。このようにかんがい水中のフッ素は土壌におけるイネの生育に影響を及ぼすことが明らかになった。

著者ら (2000 a) は水耕実験によってフッ素5および10 ppmでイネの出葉、草丈および分けつを抑制することを示した。フッ素は1株当り穂数、1株当り籾数も減少さ

せた。また、各器官の乾物重に及ぼす影響は顕著であり、5および10 ppmのフッ素でもイネの生育に著しい影響を及ぼすことを明らかにした。さらに、著者ら (2000 b) は水耕実験によってフッ素2 ppmでイネの草丈および分けつを抑制することを示した。1株当り穂数および1株当り籾数もフッ素2 ppm処理で大きく減少した。各器官の乾物重に及ぼす影響は出穂期以降が顕著で、2 ppmのフッ素でも著しく減少した。経根的に吸収されたフッ素は玄米だけでなくすべての器官に蓄積した。

山添 (1962) は土耕実験においてNaF, KF, Na₂SiF₆, K₂SiF₆およびCaF₂を新鮮土壌当り500 ppmを3回処理を行っている。それによるとNaF, KF, Na₂SiF₆, K₂SiF₆処理の藁重、籾重および玄米重は対照区に比べそれぞれ54.4~89.5%, 51.0~76.8%および47.4~71.9%に減少した。しかし、CaF₂処理の藁重、籾重および玄米重は対照区に比べ100.2%, 99.6%および98.0%と影響は認められなかった。これはフッ化カルシウムの不溶性に基因するものと推定している。一方、本実験ではかんがい水中フッ素の土耕栽培のイネの生育に及ぼす影響はフッ素5~30 ppmとフッ素50および100 ppmで

は大きく異なることを示している。すなわち1株当り分けつ数、籾重、葉身および稈重(葉鞘を含む)はフッ素5~30 ppmは対照区とほとんど差異はなかったのに対し、フッ素50および100 ppmでは対照区に比べ明らかな抑制が認められた。

著者ら(2000b)の水耕栽培の結果と本実験および山添(1962)の土耕栽培による結果の違いはフッ素の培養液および土壌の違いに基づくものと考えられる。山田・服部(1979)はフッ素汚染土壌からの可溶性フッ素の量が多い場合数十ppmに達すると指摘しているが、本実験のかんがい水中のフッ素が土壌を通してイネに経根的に吸収される量は比較的少ないと考えられる。このことはかんがい水中のフッ素の多くが土壌中で不溶化されたと推定され、このことが水耕栽培と土耕栽培によるイネの生育へのフッ素の影響の違いをもたらしたのと考えられた。結田ら(1975)は各種の土壌を用いてフッ素の吸収量を検討した。土壌によるフッ素の吸収率は75~99%と大部分のフッ素イオンが吸収された。フッ素イオンの土壌吸収率は土壌の種類によって異なり火山灰質土壌や石灰岩質土壌では高い吸収量を示したが、沖積土壌や花崗岩質土壌は比較的低かった。フッ素が大気、河川水、肥料等を介して土壌に投入された場合に、土壌の種類によってはかなり高濃度まで蓄積し、作物に何らかの影響を及ぼす可能性を示唆している。

一般に土壌は十数ppmから多い場合数百ppmのフッ素

を含み、それぞれの土壌におけるフッ素の挙動も異なっていると考えられ、今後、土壌中のフッ素濃度とイネの生育との関係について、さらに詳細な検討を加えていきたいと考えている。

引用文献

- 半野勝正・松崎淳三 1988. 先端産業事業場排水実態調査. 千葉県水保研年報 55-60.
- 市倉恒七・土山和英・長谷川利雄・山崎良明・久富啓次 1970. フッ化物による水稻および大豆の煙害について. 大阪府農技センター研報 7: 25-31.
- 勝見太・板東義仁・山田正美 1980. 大気中のフッ化水素が植物におよぼす影響. 福井農試報 17: 61-71.
- 松岡義浩・高崎強・宇田川理 1972. フッ素系大気汚染による水稻葉中のフッ素集積について. 千葉県農試報 12: 52-62.
- 山田秀和・服部共生 1979. 土壌の可溶性フッ素の存在状態について(第1報). 土肥誌 50: 235-243.
- 山内正見・吉田弘一・谷山鉄郎・梅崎輝尚・長屋祐一 2000a. 水耕栽培における培養液中のフッ素濃度とイネの生育との関係. 日作紀 69: 242-246.
- 山内正見・吉田弘一・谷山鉄郎・梅崎輝尚・長屋祐一 2000b. 水耕栽培における培養液中のフッ素とイネの生育およびフッ素含量との関係. 日作紀 69: 印刷中
- 山添文雄 1962. フッ化水素による煙害の実態ならびに機作に関する研究. 農技研報 B12: 1-125.
- 結田康一・渋谷政夫・野崎正 1975. ハロゲン元素(特にフッ素)の土壌による吸収, 溶脱および水稻幼植物による吸収. 土肥誌 46: 9-18.

Effect of Fluorine Added to Irrigation Water at Various Concentrations under Soil Culture on the Growth of Rice Plants: Masami YAMAUCHI^{*1)}, Hirokazu YOSHIDA²⁾, Tetsuro TANIYAMA¹⁾, Teruhisa UMEZAKI¹⁾ and Yuichi NAGAYA¹⁾ (¹⁾Mie Univ. Tsu 514-8507, Japan; ²⁾Matsusaka University)

Abstract: The effect of fluorine (HF) added to the irrigation water at 0, 5, 10, 20, 30, 50 and 100 ppm under the soil culture on the growth of *Oryza sativa* L. (cv. Koshihikari) was investigated. The effects of leaf-emergence rate, plant length and number of stems per hill were not observed by 5-30 ppm concentrations of fluorine added to the irrigation water. The number of stems per hill and photosynthetic activity of the leaves were obviously decreased by 50 and 100 ppm concentrations of HF. The chlorophyll contents in the leaves were not affected even by a low concentration of fluorine. The number of ears and grains per hill were decreased by the concentrations of 50 and 100 ppm in the irrigation water. It was clarified that the dry weights of unhulled rice, leaves and stems were markedly decreased by the concentrations of 50 and 100 ppm HF added to the irrigation water.

Key words: Fluorine, Growth, Irrigation water, Photosynthetic rate, Rice plant, Soil culture.