

## 竹炭による灌漑用水の浄化が水稻の生育・ 収量、雑草発生量ならびに栽培環境に及ぼす影響

米川和範<sup>1\*</sup>・菅原慶子<sup>1</sup>・坂井直樹<sup>2</sup>・林 久喜<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 筑波大学農林技術センター, 305-8577 茨城県つくば市天王台1-1-1

<sup>2</sup> 筑波大学農林学系, 305-8572 茨城県つくば市天王台1-1-1

### 要 旨

本実験では、まず、竹炭が水質を浄化する機能を確認するため、室内で水槽実験を行った。水槽実験の結果、竹炭施用によりリン酸イオン濃度および亜硝酸イオン濃度が無施用区に比べて低下し、竹炭の施用が水質を浄化する効果を確認した。そして次に圃場実験では、灌漑用水を竹炭の機能を利用して浄化したときの水稻の生育・収量並びに雑草発生量に及ぼす影響を、異なる除草剤施用量の下で比較検討した。マンゲツモチを供試し、要因として、竹炭については50kg/10aを施用する区と無施用区の2水準を、除草剤については慣行量、慣行量の1/2施用区・無施用区の3水準を設けた。竹炭施用区の玄米収量は無施用区に比べて9.2%多かったが、この収量の増加はm<sup>2</sup>当りの穂数の増加に起因していた。圃場実験では雑草発生量は、竹炭無施用区に比べ竹炭施用区の方が少なくなった。更に除草剤の減量は雑草の発生を増加させたが、竹炭を施用することで雑草発生は低減した。これは、竹炭施用が田面における糞分吸着や雑草種子の出芽抑制などを通して、雑草の生育に関与したと推察される。

キーワード：雑草生育、除草剤削減、水質浄化、水稻収量、竹炭施用

### 緒 言

本来、農業は自然環境とうまく調和した持続的営みのはずであったが、近代農業の展開に対する要請にもなって狭義の生産性向上を必要以上に意識する中で、大量の化学肥料や合成農薬が使用されるようになってきた。そして、農業活動由来の環境負荷が懸念されるようになってきた。例えば水稻生産に目を向けると、水系を含めて環境悪化が進む中で資材類の投入量が一層増加することは避けられず、悪循環の結果として、水稻生産活動自体も諸点で地球環境の悪化に荷担しているという加害者の立場が明らかになってきた。

水田は土壌や水資源などの面で優れた環境保全機能を備えているといわれる(尾崎 1993)。しかし、大量に投入された化学肥料や農薬の余剰分が系外へ流出する。この場合、水田では施用された化学肥料や農薬が田面水に溶解し、作物の吸収分以外の余剰分は水に溶けた状態で水

\* Corresponding Author: nori@sakura.cc.tsukuba.ac.jp

田系外へ流出し、河川や湖沼に対する富栄養化の促進や地下汚染という点で環境に負荷を与えている(平山・酒井 1985, 伊藤 2002, 丸 1991a, 山本ら 1999)。現在、農業資材としての農薬の環境影響に対する多様な問題が取り沙汰されている。化学物質である除草剤についても、農業生産現場の系外に流出して環境生物の生育阻害、形態変化、あるいは感受性の変動を引き起こすことが指摘されている(上路 2001)。使用された除草剤が環境中でどのような挙動や量的・質的变化をとるかについて明確にしておくことは重要である。

一方、最近では竹もしくは竹林の利用場面が急速に減退したため、随所で竹が異常繁殖しており、局地的な環境問題として深刻化している(池嶋 1999a)。わが国における現状のエネルギー源としては石油がその中心であるが、エネルギー源としての炭の需要は激減している。最近では、むしろ竹炭がもつ大気や水質の浄化作用に着目されるようになってきた。再生力が強く、低コストで計画的な大量生産が可能であり、生物資源の活用上からも環境保全機能に優れた土壌改良材などの新たな用途の開発が試みられている。しかし、これまで竹炭による雑草抑制機能についての報告が見られない。

本研究では、竹炭を水田に投入した時の①竹炭による雑草生育に対する抑止効果、②養分バランスの改善が水稻の生育・収量に及ぼす影響というプラスの面を期待して、2年間にわたる実験を計画し、竹炭施用による栽培環境改善効果に検討することにした。

## 材料および方法

### 1. 室内実験

2002年に竹炭の水質浄化効果を見るため水槽実験を行った。水槽実験は間口359mm×奥行き220mm×高さ262mmの水槽に水道水18Lを入れ、長さ約20cmに切断した竹炭を水の重量比で0.5%、1%投入する区および無施用区の3水準を設け、各処理区3個の水槽を用いた。水質に負荷を与えるため各水槽に金魚を4匹ずつ入れ2月3日から1ヶ月間飼育した。飼育中は水の交換や竹炭の洗浄は一切行わなかった。定期的に水槽の水を採取し、簡易水質検査キットシンプルパック(柴田科学(株))、リン酸測定用(モリブデン酸青法)および亜硝酸測定用(ナフチルエチレンシアン法)を用いてリン酸イオン濃度および亜硝酸イオン濃度を測定した。

### 2. 圃場実験

圃場実験は2002年に筑波大学農林技術センター内の実験用水田(淡色黒ボク土)で除草剤と竹炭施用の2要因について試験した。

除草剤は、ベンスルフロンメチル・ベンチオカーブ・メフェナセット粒剤(ベンスルフロンメチル0.17%、ベンチオカーブ5%、メフェナセット1%含有)を用い、除草剤施用量について10a当たり3kg施用する対照区、1.5kg/10a施用する除草剤1/2区および除草剤を施用しない除草剤0kg/10aの3水準設けた。竹炭施用については、長さ20cmに切断した竹炭を50kg/10a施用する区と施用しない区の2水準を設けた。除草剤施用量と竹炭施用をそれぞれ組み合わせた6処理区を設けた。処理区としての反復は行わなかった。

供試水田の66m×10m(6.6a)で、これを6つに区切って5m×22m(1.1a)を1処理区とした。品種はマンゲツモチを供試した。各処理区は、波板を用いて仕切り、田面水の水平移動

を制限するようにした。灌漑用水は構内の雨水や地下浸透水などが流入する用水池から取水した。

6月9日に入水し、6月10日に基肥散布と代かきを行った。16日間育苗した稚苗（葉齢3.4、草丈24.0cm）を6月12日に乗用5条田植機で条間30cm、株間16cmの栽植密度で移植した。なお調査区の株については1株4本植えに調整した。

6月24日に除草剤を施用した。施肥は各処理区とも基肥として高度化成肥料（N 8%、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>20%、K<sub>2</sub>O20%）をN成分で10aあたり4.9kg全層施肥した。追肥は硫酸アンモニアを、各区とも7月2日（分けつ肥）および8月8日（穂肥）にそれぞれN成分で10aあたり2kgを施用した。殺虫殺菌剤は、本田移植時の6月12日にフィプロニル・プロベナゾール粒剤を育苗箱あたり50g施用した。また、7月22日にはMPP・フラサイド・ベンシロクロン・EDDP粉剤を3kg/10a施用した。その他の本田管理は本センターの慣行に準拠した。

供試した竹炭は、6月7日にモウソウチクを伐採後、長さ80cmで四分割し、6月13日に窯入れ→口焚き→炭化→消火→冷却→出炭の工程で製造した。竹炭は長さ約20cmに切断した後ポリエチレン製網袋に1袋あたり220g入れ、6月21日に水稻条間の田面に1区25袋を約50cm間隔で置床した。

生育調査では、各区とも中央部の連続した20株について20日ごとに草丈、莖数、SPAD値を測定した。SPAD値は、葉緑素計（SPAD-502、ミノルタ）を用いて展開葉の上位第2葉葉身2/3の位置で測定した。1区3ヶ所から水を採取し、簡易水質検査キットを用いて、リン酸イオン濃度と亜硝酸イオン濃度を調べた。水耕チェッカー（HT-90、コス）を用いてpHを測定した。溶存酸素は、朝9時に1区3ヶ所で溶存酸素計（OM-14、堀場製作所（株））を用いて測定した。

水稻については、水稻の成熟時に各区から1ヶ所50株を3ヶ所から採取し、代表株法により収量および収量構成要素を求めた。

なお、雑草の種類と生育量については、2002年10月9日に縦50cm×横50cmの方形枠を用いて、各区中央部の3ヶ所に設置して調査した。更に2003年は除草剤を一切施用しないでマンゲツモチを栽培し、10月5日に縦60cm×横60cmの方形枠を用いて各区3ヶ所について調査した。

## 結 果

### 1. 室内実験

竹炭の水質浄化効果を見るため行った水槽実験のリン酸イオン濃度および亜硝酸イオン濃度を図1および図2に示した。リン酸イオン濃度は無処理区では実験開始後15日目以降急激に増加した。竹炭0.5%区は無処理区との間に有意な差はみられなかったが、竹炭1%は処理後15日目以降一定の低い値を維持した。亜硝酸イオン濃度は無処理区では実験開始後22日目までは一定の速度で増加を続け、その後急激に低下した。これに対し竹炭0.5%区および竹炭1%区では亜硝酸イオン濃度の低下が早く、22日目には減少した。一定期間を超えるとそれぞれのイオン濃度の低下に竹炭の効果があることがわかった。

## 2. 圃場実験

### (1) 気温と日射量

旬別平均気温及び旬別平均日射量を図3に示した。2002年の平均気温は平年に比べ6月下旬は低くなったが、7月から8月上旬には平年より高く推移した。また日射量も7月中旬から8月下旬の間平年に比べ2002年は多かった。

### (2) 水稲の草丈

水稲の草丈を図4に示した。水稲の草丈に関しては、移植後から生育後期までの間に区間差は認められなかった。また、各処理区とも倒伏は観察されなかった。

### (3) 水稲の茎数

水稲の茎数を図5に示した。移植後20日頃から竹炭施用区で生育が旺盛となり、移植後40日

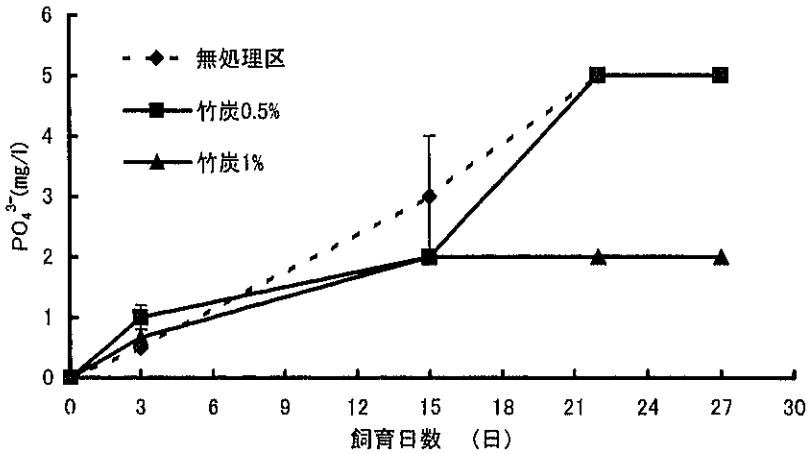


図1 竹炭施用がリン酸イオン濃度に及ぼす影響。

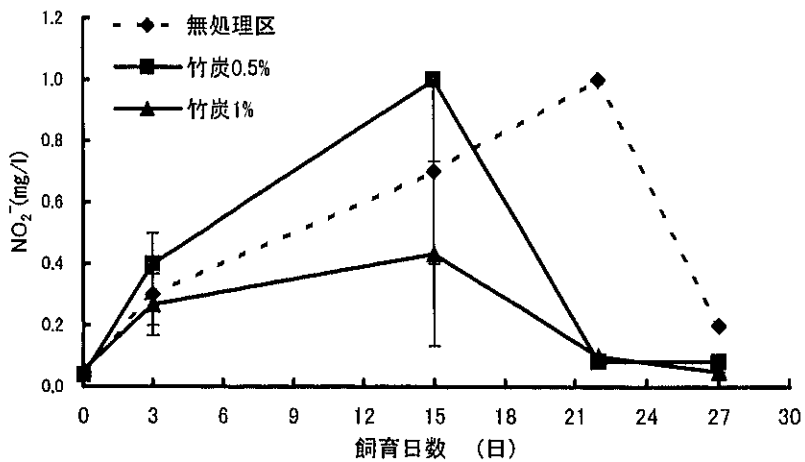


図2 竹炭施用が亜硝酸イオン濃度に及ぼす影響。

頃には竹炭施用区で竹炭無施用区より著しく増加し、その後も優位な状態で推移した。竹炭施用区に比べて、竹炭無施用区では水稲の茎数増加が少なく、生育全般を通じて緩慢であった。最高分け時期は各処理区とも移植後40日頃に観察された。成熟時には、除草剤1/2竹炭施用区が最大となったが、除草剤0/2竹炭区、除草剤2/2竹炭区は生育後期に減少する傾向が認められた。

(4) 水稲の有効茎歩合

有効茎歩合を表1に示した。除草剤1/2竹炭施用区が83.4%と最大であったが、他の竹炭施

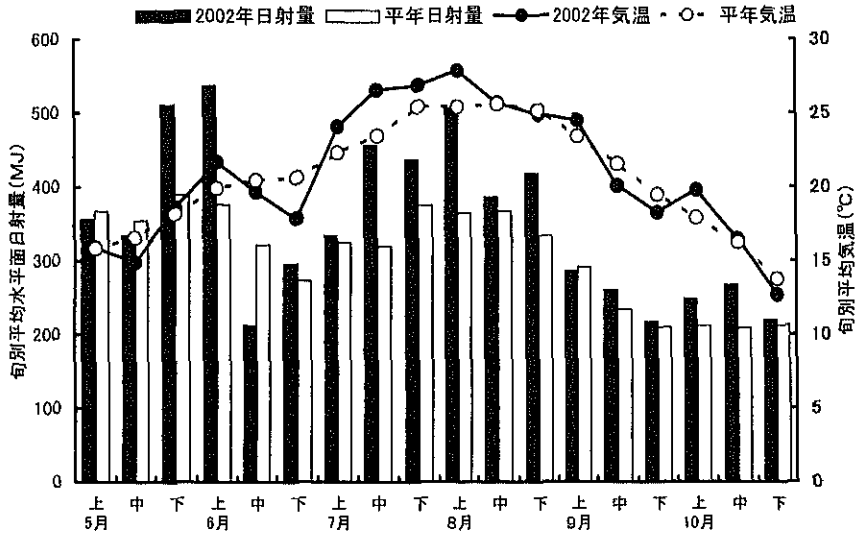


図3 試験期間中の気温及び日射量の推移。

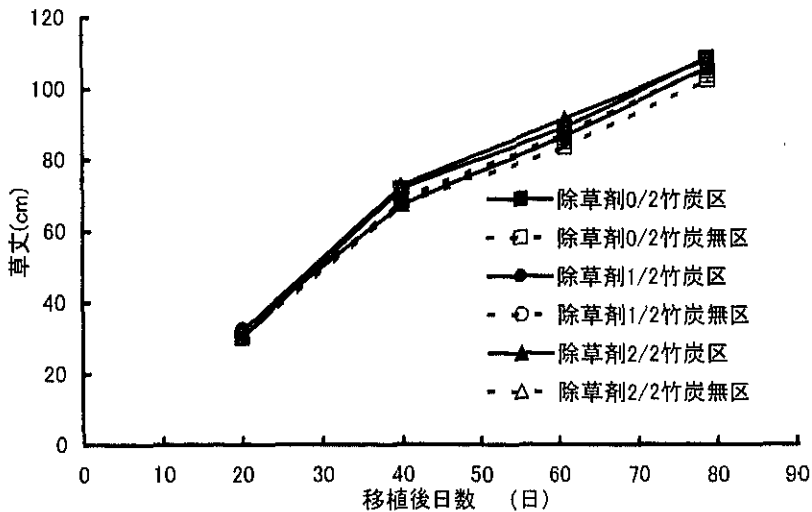


図4 異なる除草剤施用下における竹炭の有無が草丈に及ぼす影響。

用区では分けつの発生の増加が有効分けつにつながらなかったために、竹炭無施用区比べて有効茎歩合が低くなった。

出穂期は処理区間に差がなく、出穂始は移植後70日目の8月21日、出穂期は移植後74日目の8月25日であった。

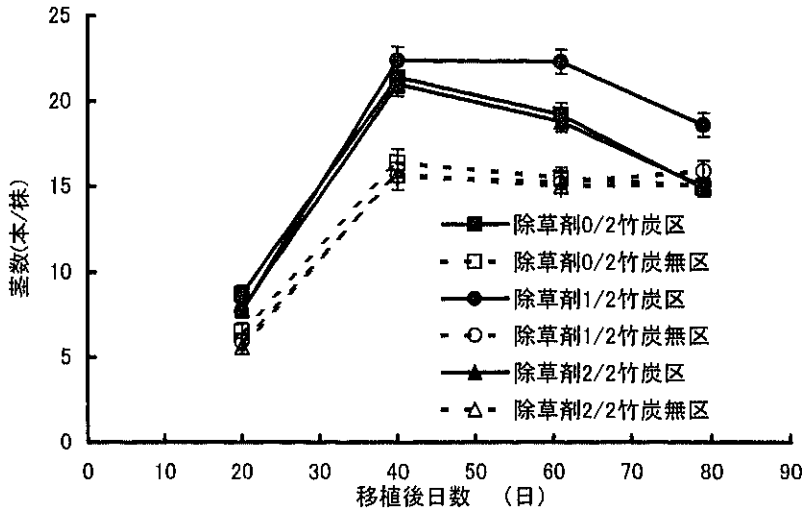


図5 異なる除草剤施用下における竹炭の有無が茎数に及ぼす影響。

表1 異なる除草剤施用下における竹炭の有無が有効茎歩合に及ぼす影響。

試験区	有効茎歩合 (%)
除草剤0/2竹炭区	70.1 c
除草剤0/2竹炭無区	73.7 bc
除草剤1/2竹炭区	83.4 a
除草剤1/2竹炭無区	72.1 bc
除草剤2/2竹炭区	76.0 abc
除草剤2/2竹炭無区	80.4 ab
除草剤 除草剤0/2	71.9 b
除草剤 除草剤1/2	77.7 a
除草剤 除草剤2/2	78.2 a
竹炭 竹炭施用	76.5
竹炭 竹炭無施用	75.4
除草剤	*
竹炭	ns
除草剤 * 竹炭	***

注1) \*, \*\*\* はそれぞれ5%, 0.1%で有意であることを示す。

また, nsは有意でないことを示す。

注2) 異なる英文字を付した平均値間にはTukeyのステューデント化した範囲検定において5%水準で有意差があることを示す。

(5) 水稻の SPAD 値

葉色を表す SPAD 値を図 6 に示した。SPAD 値は移植後40日頃までは増加しその後減少したが，この減少割合は竹炭施用区で小さかった。生育期間を通してみると，竹炭無施用区に比べて竹炭施用区で SPAD 値が高く推移した。

(6) 水稻の pH

田面水の pH の推移を図 7 に示した。最低値が6.1，最高値が7.4，平均値は6.9であり，処理区間差は小さかった。

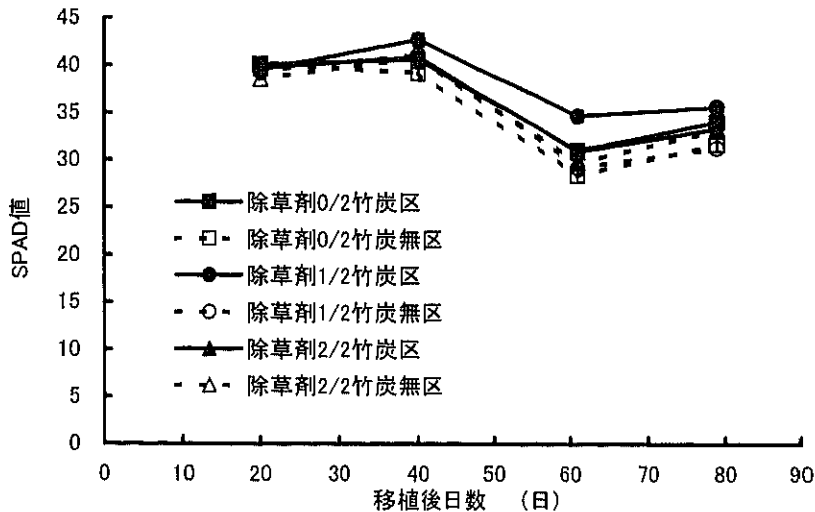


図 6 異なる除草剤施用下における竹炭の有無が葉色に及ぼす影響。

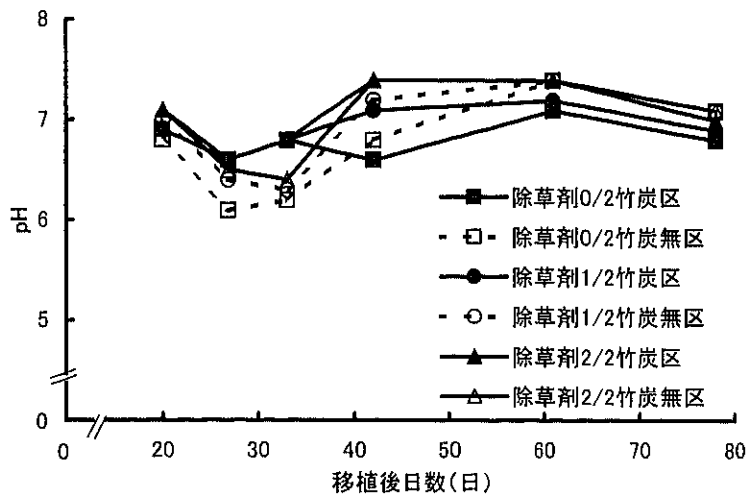


図 7 異なる除草剤施用下における竹炭の有無が pH に及ぼす影響。

田面水の亜硝酸イオンおよびリン酸イオンを簡易キットで測定したが、変化が微小でカラーチャートによる判定では測定範囲外となり差を検出することができなかった。

#### (7) 水稻の溶存酸素量

溶存酸素量の推移を図8に示した。溶存酸素量は生育期間を通じて、竹炭無施用区の変動が大きかった。測定期間中は、各処理区とも7月中旬頃に値が高くなり、処理区間の変動も大きくなったが、その後は各処理区とも変動は減少した。

#### (8) 雑草発生量

雑草発生量について表2に示した。雑草の合計乾物重は慣行施用区(除草剤2/2)で最も少なく、除草剤1/2区は無施用区と同じであった。また、竹炭施用区では竹炭無施用区に比べて76.4%少なかった。除草剤施用量の削減は雑草の発生量を増加させたが、竹炭を併用することである程度は発生量を減少させることができた。なお、生育していた雑草としては、アブノメが優占種であり、除草剤施用量を減量することで発生量が多くなったが、竹炭施用により減少する傾向がみられた。つぎに発生が多かったコナギは、除草剤による処理区間差は認められなかったが、竹炭施用の有無では竹炭無施用区で増加した。なお、オオアブノメでは除草剤の減量と竹炭施用の有無の要因間に交互作用が認められた。雑草の発生消長の観察によると、各処理区とも発生始期は7月2日頃であり、処理区間差は認められなかった。

追跡調査として行った2003年の雑草発生量を表3に示した。2002年に比べていずれの試験区も雑草の発生が増大した。雑草種も2002年の5種から9種に増加し、発生量ではアブノメとコナギが優占的でその他の草種は少なかった。一方、2002年にはみられなかったタイヌヒエが、個体数は少ないものの発生がみられた。統計的有意差は見られなかったものの、竹炭施用区の5%水準における雑草発生は翌年においても無施用区に比べ少ない傾向がうかがえた。

#### (9) 水稻の収量及び収量構成要素

収量および収量構成要素を表4に示した。登熟歩合と玄米千粒重には竹炭施用の有無による差は認められなかったが、 $m^2$ 当りの穂数は、竹炭無施用区に比べて竹炭施用区で高く、竹炭施用区の収量は無施用区に対し9.2%増加していた。除草剤については、玄米千粒重以外の収

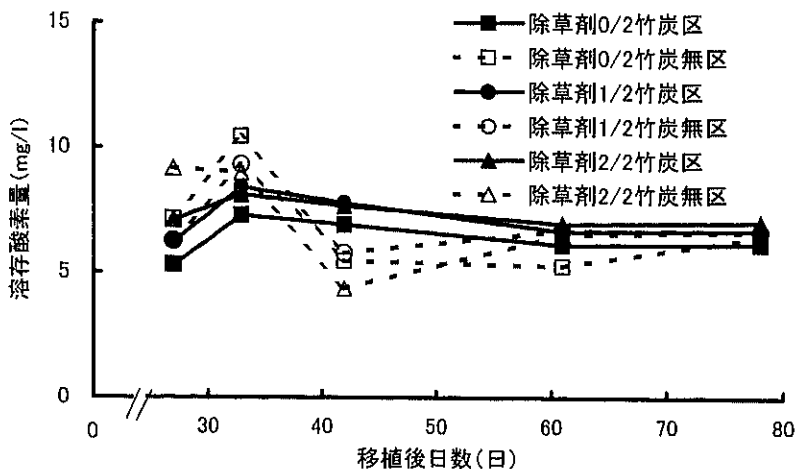


図8 異なる除草剤施用下における竹炭の有無が溶存酸素に及ぼす影響。



表2 異なる除草剤施用下における竹炭の有無が雑草の乾物重に及ぼす影響 (2002年).

試験区	雑草乾物重 (g/m <sup>2</sup> )						合計
	ホタルイ	オオアブノメ	アブノメ	コナギ	ハコベ		
除草剤0/2竹炭区	0.07	0.29 b	2.04	—	—	—	2.40
除草剤0/2竹炭無区	0.03	0.85 a	5.39	0.17	0.03	—	6.47
除草剤1/2竹炭区	—	— b	0.99	—	—	—	0.99
除草剤1/2竹炭無区	0.05	— b	5.00	2.92	0.05	—	8.02
除草剤2/2竹炭区	0.03	0.04 b	0.80	0.03	—	—	0.90
除草剤2/2竹炭無区	0.08	— b	1.53	2.09	—	—	3.71
除草剤 除草剤0/2	0.05	0.57 a	3.71 a	0.09	0.01	—	4.43
除草剤 除草剤1/2	0.03	— b	2.99 ab	1.46	0.03	—	4.51
除草剤 除草剤2/2	0.05	0.02 b	1.17 b	1.06	—	—	2.30
竹炭 竹炭施用	0.03	0.11 b	1.28 b	0.01 b	—	—	1.43 b
竹炭 竹炭無施用	0.05	0.28 a	3.97 a	1.73 a	0.03	—	6.07 a
除草剤	ns	***	*	ns	ns	—	ns
竹炭	ns	**	**	**	ns	—	**
除草剤 * 竹炭	ns	***	ns	ns	ns	—	ns

注1) \*, \*\*, \*\*\*はそれぞれ5%, 1%, 0.1%で有意であることを示す。また, nsは有意でないことを示す。

注2) 異なる英文字を付した平均値間には Tukey のスチューデント化した範囲検定において5%水準で有意差があることを示す。

表3 異なる除草剤施用下における竹炭の有無が翌年の雑草乾物重に及ぼす影響 (2003年).

試験区	雑草乾物重 (g/m <sup>2</sup> )									合計
	アブノメ	オオアブノメ	コナギ	ホタルイ	カヤツリグサ	アゼナ	ヒエ	マツバイ	タネツケバナ	
除草剤0/2竹炭区	22.07	4.67	10.20	0.83	—	—	11.99	0.04	—	49.80
除草剤0/2竹炭無区	19.74	3.79	47.97	0.81	0.07	0.05	—	—	—	72.43
除草剤1/2竹炭区	26.82	0.37	17.29	0.15	—	8.82	24.43	—	—	77.88
除草剤1/2竹炭無区	23.35	3.89	37.72	3.77	0.17	0.13	5.15	—	0.05	74.22
除草剤2/2竹炭区	36.48	6.04	7.52	0.90	0.24	—	32.85	0.06	—	84.08
除草剤2/2竹炭無区	31.18	2.95	21.94	5.21	1.46	0.09	45.34	—	0.18	108.35
除草剤 除草剤0/2	20.90	4.23	29.09	0.82	0.04	0.02	6.00	0.02	—	61.12
除草剤 除草剤1/2	25.09	2.13	27.51	1.96	0.08	4.47	14.79	—	0.02	76.05
除草剤 除草剤2/2	33.83	4.50	14.73	3.05	0.85	0.05	39.10	0.03	0.09	96.22
竹炭 竹炭施用	28.46	3.69	11.67 b	0.62	0.08	2.94	23.09	0.03	—	70.59
竹炭 竹炭無施用	24.76	3.54	35.87 a	3.26	0.57	0.09	16.83	—	0.08	85.00
除草剤	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
竹炭	ns	ns	**	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
除草剤 * 竹炭	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns

注1) \*\*は1%で有意であることを示す。また, nsは有意でないことを示す。

注2) 異なる英文字を付した平均値間には Tukey のスチューデント化した範囲検定において5%水準で有意差があることを示す。

表4 異なる除草剤施用下における竹炭の有無が収量構成要素に及ぼす影響.

試 験 区	穂数 (本/m <sup>2</sup> )	1穂粒数 (個/穂)	登熟歩合 (%)	千粒重 (g/1000粒)	玄米収量 (g/m <sup>2</sup> )
除草剤0/2竹炭区	340.3	68.1	87.9	22.7	460.6
除草剤0/2竹炭無区	283.3	71.2	89.2	22.7	408.1
除草剤1/2竹炭区	329.0	69.4	87.9	22.9	460.4
除草剤1/2竹炭無区	285.3	72.4	86.5	23.1	412.0
除草剤2/2竹炭区	323.7	67.2	89.4	23.0	446.7
除草剤2/2竹炭無区	287.2	70.6	90.1	23.1	422.2
除草剤 除草剤0/2	311.8	69.7	88.6	22.7 b	434.4
除草剤 除草剤1/2	307.1	70.9	87.2	23.0 a	436.2
除草剤 除草剤2/2	305.5	68.9	89.8	23.1 a	434.5
竹炭 竹炭施用	331.0 a	68.2 b	88.4	22.8	455.9 a
竹炭 竹炭無施用	285.2 b	71.4 a	88.6	23.0	414.1 b
有意性					
除草剤	ns	ns	ns	***	ns
竹炭	***	***	ns	ns	***
竹炭 * 除草剤	ns	ns	ns	ns	ns

注1) \*\*\*は0.1%で有意であることを示す。また、nsは有意でないことを示す。

注2) 異なる英文字を付した平均値間にはTukeyのステューデント化した範囲検定において5%水準で有意差があることを示す。

量構成要素では差が認められなかった。

## 考 察

### 1. 竹炭の特徴と水稻の生育・収量への影響

竹炭の特徴は竹の主要成分であるセルロース類やリグニンが炭化の過程で熱分解した跡が、多孔質で吸着力となり、その吸着面積は竹炭1g当たりで300m<sup>2</sup>といわれる。とくに、有機塩素化合物や重金属を吸着・除去する能力が高い(野村 2002)。このような機能を利用して、河川や湖沼などの水質浄化に関する先行事例が報告されている(池嶋 1999)。

水田は河川などの水系と密接な関係を有し、加えて湛水状態で農薬が散布されることが多い。このようなことから、畑地に比べて水田では農薬が河川などに流出しやすい。また、水田では殺虫剤の空中散布や除草剤施用など、特定の時期に水田に同一の農薬が集中的に使用されることが多く、このことも流出農薬による河川水質汚染の進行に関する特徴となっている(丸 1991b)。周辺地域からの雨水や圃場の地下浸透水が暗渠を通じて流入している用水池を使用している、本学農林技術センターの水田では、水質管理にはとくに注意を払う必要があることが指摘されている(香川ら 1998a)。

竹炭施用区で生育初期から茎数が増加し、生育後期までこれが続いたことから、竹炭施用区では一株穂数やm<sup>2</sup>当たり穂数が増加した。竹炭を50kg/10a水田に施用することで、竹炭無施用水田に比べて穂数が増加し増収に結びついたということである。池嶋は水田に200g/m<sup>2</sup>の粉炭を入れると、冷害年に水田の表面温度は7℃程度上昇する事例が報告されている(池嶋

1999c)。この場合と竹炭の形状や施用方法が異なるが、本実験でも竹炭施用で初期生育や分けつ発生が促進され、分けつが旺盛となり、無効茎が抑制されて一株穂数や $m^2$ 当り穂数増加を介して、最終的な収量増加に繋がったものと推察された。

移植後40～61日における上位葉葉色の推移をみると、竹炭無施用区に比べて竹炭施用区で値が高くなった。葉色は水稻の栄養状態を表す一つの指標であり、一般に窒素含有率が高くなると葉色は濃くなり、光合成能力を向上させることが知られている。本実験での結果は、葉の活力や上位葉における葉緑素含量が高いことを示し、収量構成要素に有利に作用したと考えられる。竹炭を施用することで、有用な微生物の繁殖が生じ、根の生長を促進する作用などを通して複合的に関与したものと推定された。

## 2. 雑草の発消長に及ぼす竹炭と除草剤の影響

本実験における雑草の発消長をみると、発生開始期は移植後～20日経過後の7月2日頃であり、8月上旬頃には発生盛期に達していたものと推定された。竹炭を施用することで雑草発生量の抑制効果が見られたが、これについては竹炭が水中や田面の養分を吸着し、または雑草種子の出芽抑制などを通じてのものであったと推定されるが、本実験からはメカニズムを特定できなかった。しかし、竹炭施用により雑草量が減少した理由としては、雑草の種類によって要求する養分に違いがあること、すなわち栽培環境が雑草の群落組成や遷移に多大な影響を及ぼすことが知られている(植木・松中 1972a)。竹炭施用によって土壌の余剰の養分が竹炭に吸着され、雑草に対する養分バランスが崩れたとすると、雑草が新たな環境に適応できず雑草の生長が阻害されたと考えることもできる。

一方、除草剤の減量で雑草量が増加したのは、除草剤施用量を減少させることで単位面積当たりの有効成分量が減少し、除草剤がもつ本来の作用特性が得られなかったためとも考えられる。雑草の許容限界は $1 m^2$ 当たりの雑草風乾重は、移植の場合10～20g、直播の場合30gが限界といわれている(植木・松中 1972b)。また、水稻に対する雑草害については、それが最高分けつ期前後と出穂期～登熟前期までの2時期に受けると、特に影響が著しいといわれる。第一の時期は水稻の穂数が決まる時期に相当し、雑草や光、養分をめぐる競合が激しい場合には穂数の減少につながりやすい。第二の時期は稔実初期に相当し、ここでの競合が激しいと完全粒数の減少や不完全粒数の増加などの登熟障害につながりやすい。一般に、水稻収量への影響としては前者の方が著しいといわれる(植物防疫講座 1982)。

本実験の結果によれば、最も雑草量の増加した除草剤1/2竹炭無施用区でも乾物量で10g以下の発生量にとどまったことから、除草剤無施用による栽培1年目としては、雑草発生量に対するある程度の抑止効果が得られたと解釈することができる。

除草剤の吸着能力については、一般に有機物に富んだ土壌の方が大きく、土壌別では火山灰土壌の方が大きいといわれるが(中村 1993)、土壌条件の違いによっていわゆる残留性が異なることも知られている。実験圃場の土壌の化学性はpH5.99、腐食8.06%、全窒素0.35%、可給態リン酸6.5mg(1992年)であった。2003年の実験で雑草の発生を追跡調査した結果では、最も発生量が少なかった除草剤0/2竹炭区の雑草乾物重は49.80g/ $m^2$ 、最も多かった除草剤2/2竹炭無施用区は108.35 g/ $m^2$ であった。このことから、雑草の許容限界を超えて雑草害の影響は著しく、前年度施用した除草剤の残留の影響はほぼないと判断された。また、竹炭の施用による雑草への残留影響もなかったと判断された。雑草による作物の減収の主要因は、生育に

おける限定要因である光と養水分をめぐる作物と雑草の相互作用すなわち競合にある（高柳 2001）。作物の減収率を直接、雑草の量（発生密度や乾物重）から導こうとするものが主流を占めてきた。Auld らは既往の作物減収率と雑草密度との経験的な回帰モデルを整理して雑草密度の増加に伴う作物減収率の増加パターンを雑草密度の低い段階では作物減収率は雑草密度に伴いほぼ直線的に増加するが、雑草密度が高まるにつれて減収率の増加程度が低くなる曲線型が最も一般的であると述べている。作物対特定の雑草の競合関係を見るためには発生雑草をできる限り少なくし、対象雑草を前年に増殖させてなるべく均一に自然発生した条件での競合関係を調べることが必要であるが、均一に自然発生させることは非常に難しいため自然発生の雑草と作物の競合関係をみたが、今後は水稲と雑草の関係や土壌条件などについて調べる必要性がある。

### 3. 除草剤の灌漑用水への影響と竹炭の水質浄化効果

本実験では、除草剤として殺草スペクトラムが広い bensulfuron-methyl・bentazone カーブ・メヘナセットの混合剤を供試したが、bensulfuron-methylの水溶解度は、水の pH が 5 のときは比較的低い、pH の上昇にともなって著しく増加する（富沢ら 1989）。水田および排水路の水系では、そこに棲息する藻類などによるアンモニア態窒素の生成の影響を受けて pH が上昇し、場合によっては pH が 9 以上になる場合が知られている（日高・柴 1983）。本実験での pH は 7 程度であり、1987～1991 年に本水田の灌漑水を調べた結果（香川ら 1998b）によれば、平均で 7.45 であり、今回の測定値と同様であった。

水の浄化程度をみると、竹炭の施用と溶存酸素および pH 間の要因関係は明らかではなかった。また、水質と土壌との関係についても明らかではなかった。一方、水槽実験における水質浄化効果をみると、広い表面積に由来する吸着機能による場合以外に、表面に生息する微生物による有機物分解機能に依存することが木炭について知られているが（鹿野 2001a）、竹炭にも同様な効果が存在すると考えられる。

本実験では、条件として従来経験的にいわれている竹炭施用量を用いたが、木炭を用いて水質浄化を行う場合には水量に対して重量割合で 5% 以上の木炭が必要であるとされている。一方、木炭の形状や原木樹種による効果の違いはあまり考えなくてもよいとされている（鹿野 2001b）。

本実験に供試した竹炭の形状は、施用方法の簡略化と回収の利便性を考慮して記述の施用方法としたが、このような形態が真に優れているかどうかは不明である。今後は、竹炭の施用量と施用方法が土壌の変化や水稲の収量形質、さらには雑草相に及ぼす影響やその機作について、より詳細な、より科学的な究明が必要である。

## 謝 辞

本研究の遂行に当たり、2002年度文部科学省科学研究費補助金（奨励研究 B）の補助を受けた。また本学農林技術センター遠藤徹技術専門職員には、竹炭の製造についてご指導とご協力をいただいた。ここに記して謝意を表する

引用文献

- Auld, B. A. K. M. Kenz and C. A. Tisdill 1987 "Weed control economics" Academic press, London, 177.
- 日高 伸・柴 英雄 1983. 汚濁水流入田の田面水質アオウキクサと藻類の窒素に及ぼす影響, 土肥誌, 54 (5) 429-433.
- 平山 力・酒井 一 1985. 水田からの肥料成分の流出とその対策 (第1報) 水田からの肥料成分の流出, 茨城県農試研報25: 133-146.
- 池嶋庸元 1999. 岸本定吉監修, 竹炭・竹酢液の作り方と使い方, 農文協, 東京, 10, 18-21, 47, 76.
- 伊藤和子 2002. 水田における農薬の流出実態と数理モデル (PADDY) 予測の可能性, 栃木農研報 51: 29-36.
- 香川邦雄・今野 均・米川和範・軽部 潔 1998. 農林技術センターの灌漑水量とその水質並びにそれに伴う養分の供給, 農林研報11: 31-38.
- 鹿野厚子 2001. ナラ黒炭による家庭排水の浄化効果, 炭の力 3: 45-47.
- 丸 論 1991. 水系環境における農薬の動態に関する研究, 千葉県農試研特別報告18: 50-52.
- 中村幸二 1993. 農耕地の土壌・水圏環境における農薬の動態に関する研究, 埼玉県農試研報 46: 58.
- 野村隆哉 2002. 竹炭・竹酢液の健康効果, 現代農業 4月号: 84-87.
- 尾崎保夫 1993. 農業生態系の環境保全機能—水質浄化機能—, 農業技術48: 30-33.
- 植物防疫講座 1982. —農薬・行政—農薬編, 農薬の作用特性と利用, (社団法人) 日本植物防疫協会, 東京, 82-84.
- 高柳 繁 2001. 第1章雑草の生物・生態に関する試験法, 第4項雑草害試験法, 雑草科学実験法, 日本雑草学会, 東京, 92-97.
- 富沢長次郎・植路雅子・腰岡政二 1989. 最新農薬データブック, ソフトサイエンス社, 東京, 74.
- 上路雅子 2001. 第4章除草剤の環境中動態試験法, 雑草科学実験法, 日本雑草学会, 東京, 373-374
- 植木邦和・松中昭一 1972. 第4章雑草害, 雑草防除大要, 養賢堂, 東京, 44, 65-66.
- 山本幸洋・澤川 隆・金子文宜・高橋 強 1999. 除草剤ベンチオカーブの水田からの流出特性および流出抑制対策, 千葉県農試研報40: 51-54.

## Improving the Environmental Effect on Paddy Cultivation with Irrigation Systems of Eutrophicated Water Purified by An Application of Bamboo Charcoal

Kazunori YONEKAWA<sup>1\*</sup>, Keiko SUGAWARA<sup>1\*</sup>, Naoki SAKAI<sup>2</sup>  
and Hisayoshi HAYASHI<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Agricultural and Forestry Research Center, University of Tsukuba, 1-1-1 Tennodai, Tsukuba, Ibaraki 305-8577

<sup>2</sup> Institute of Agriculture and Forestry, University of Tsukuba, 1-1-1 Tennodai, Tsukuba, Ibaraki 305-8572

### Abstract

To investigate the possibility of irrigation systems of eutrophicated water purified by an application of bamboo charcoal on paddy cultivation, we carried out a series of experiment from 2002 to 2003 for proposing the reduction method of agricultural chemicals. In this study, we expected that the suppressing effect on notable propagation of weed by improving the nutritious balance of irrigated water and the following positive effect on rice growth. Weed on a paddy field increased with reducing an application of chemicals, but the bamboo charcoal plot at the application level of 50kg/10a showed the reducing effect on chemicals for suppressing weed propagation. Then, brown rice yield was attained the 9.2% increment of control in treatment of bamboo charcoal. The positive effect on an application of bamboo charcoal was explained by some changes of rice growth characteristics, such as hastened tillering stage of rice, increased head number per hill and increased head number per unit area. But we could not clear the detailed mechanism of an application of bamboo charcoal in this study.

**Key words** : Bamboo charcoal, Growth of weed, Purification of water quality, Reduction of herbicide, Rice yield

---

\* Corresponding Author: nori@sakura.cc.tsukuba.ac.jp