

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 13 日現在

機関番号：24403

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2013

課題番号：23580025

研究課題名(和文)ゲリラ豪雨による極短時間の冠水が水稻の中長期の生育に及ぼす影響

研究課題名(英文)Effect of an unforeseeable torrential downpour called guerrilla gouu on the growth of the rice plants.

研究代表者

大江 真道(OHE, Masamichi)

大阪府立大学・生命環境科学研究科(系)・准教授

研究者番号：60244662

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,000,000円、(間接経費) 1,200,000円

研究成果の概要(和文)：不時の豪雨いわゆるゲリラ豪雨による冠水がイネ生育へ及ぼす影響を明らかにするために1、2、4、8日の冠水処理を生育時期別に行った。生育初期に生じた影響は生育とともに回復し、収量への影響は小さかった。生育後期では、籾の分化期、花粉の形成期、稔の前期の処理で影響が大きく、2日以上冠水で収量が減少した。収量の減少は弱勢の籾の退化に因る籾数の減少に起因した。生育後期の長期冠水(8日)は通常出現しない遅発分げつ(分枝)を促進した。見かけの茎数は増えるが穂を形成することは無かった。このような分げつの出現は重心を高め、倒伏に弱い姿勢に導いた。以上の障害は水温が高い場合ほど顕著であった。

研究成果の概要(英文)：To clarify influence of the flood caused by the torrential rain on rice growth, we set 1, 2, 4 and 8 days submergence treatments in the major growth stages of rice. Effects of submergence on growth at the early growth stage (tillering stage) of rice became small with growth, and the negative effect on yield was small. On the other hand, submergence more than 2 days of the grain differentiate, the pollen forming and grain filling stages decreased the yield. Yield reduction was caused by the degeneration of the weak spikelet. In 8 days treatment of the late growth stage (panicle formation stage), high node tillers which does not appear in the normal cultivation conditions were observed. Apparent stem number greatly increased, but these stems did not grow up to panicles. Emergence of such tillers made center of gravity high, and changed the rice posture into the posture that was easy to lodge. The higher the flood water temperature, the damage caused by flood became remarkable.

研究分野：農学

科研費の分科・細目：作物学・雑草学

キーワード：flood submergence rice yield tiller heavy rain disaster

1. 研究開始当初の背景

従来の水稲の生産現場で報告される冠水害は主に季節性のものを対象にしていた。つまり梅雨期の集中豪雨、台風によるものが主で、作期の変更による耕種的な対応や、気象予報の精度の向上に伴う詳細な情報によって、事前に被害の回避や予測を行うことが可能となった。一方、7月～8月上旬に頻発する「ゲリラ豪雨」と呼ばれる不時の集中豪雨は、前線の発達に伴って引き起こされる集中豪雨とは異なり、局地的に突然発生し、短時間のうちに著しい降雨をもたらす、予測困難な洪水を引き起こすものであり、現在の栽培体系での被害の回避や障害の軽減を困難にしている。また生育被害の特徴についても情報が見られない。

水稲は、長期的な水環境の変動に対して適応的な反応を示す一方で、生育時期によって形態形成・生理に障害を招き、分けつ減少や幼穂発達障害によって収量が減少する。また、障害の程度は、生育ステージ、冠水時間、また、水質(流速、濁度)で大きく変動する。また、近年顕著な、白未熟粒発生の回避を目的とした遅植えは草丈と水深との相対的な関係から被害を助長し、特定品種への偏重も、危険分散や品種間の適応性の差異から被害程度に影響すると予想される。

長期の冠水による生育障害については、水質、品種、生育変動、耐倒伏性との関連で認められるが(山田ら 1954, 1956, 林・山本 1978, 1979), 極短期の一時的な冠水の中長期的な生育に及ぼす影響を、現在の栽培体系、品種のもとでの調べたものはない。とくに極短時間の冠水では、外観上の被害は認められなくても、その後の生育に生じる影響は無視できないことも予想される。冠水、深水に対する水稲の反応性は品種によって異なり、茎葉部の急速な伸長、通気組織の発達、水中根の発生、ガス交換層の発達で高い適応性を示す適応機構も認められ、知見や手法は当該研究へ還元できると考えた。

山田登・太田保夫・長田明夫 1954. 水稲の冠水抵抗性に関する研究. 日作紀 23: 155 - 161.

山田登・太田保夫 1956. 水稲の冠水抵抗性に関する品種間差異. 日作紀 24: 151 - 153.
林金殿・山本良三 1978. 水稲の耐倒伏性における冠水障害とその対策に関する研究. 第1報 耐倒伏性に関連する外部形態の変化. 日作紀 47: 674 - 680.

林金殿・山本良三 1978. 水稲の耐倒伏性における冠水障害とその対策に関する研究. 第2報 冠水における水稲の耐倒伏性の減衰とその機構. 日作紀 47: 681 - 689.

林金殿・山本良三 1978. 水稲の耐倒伏性における冠水障害とその対策に関する研究. 第3報 冠水害における耐倒伏性減退機構の生理. 日作紀 48: 148 - 154.

2. 研究の目的

本研究は、我が国の水稲栽培中における水害の中で特に近年発生が顕著に認められ、予測と対応が困難な局地的、極短時間に生じるいわゆる「ゲリラ豪雨」による短期の一時的な冠水が、生育を通しての中長期的な水稲生育に及ぼす影響を検討し、被害程度の早期把握、収量予測と、被害軽減のための耕種技術の構築、品種、作期選択に反映できることを目的とした。生産性変動傾向の把握から、大都市近郊の水田の緩衝・調整池としての機能と役割、そして今後の積極的利用の可能性について「緩衝池機能」と「生産性」を対比したトレードオフの視点から評価し、都市型水田の新しい価値を提言することを目的として行った。

3. 研究の方法

1) 異なる生育段階における短期間の冠水が生育および収量構成要素に及ぼす影響

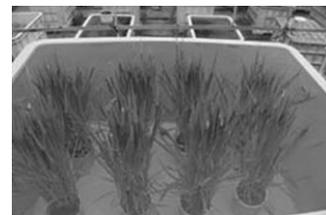
材料と方法

葉齢約5の生育初期と幼穂発達期に冠水処理を行った。

生育初期の冠水処理 供試品種はコシヒカリ。冠水処理区として3時間冠水区および6時間冠水区、9時間冠水区、12時間冠水区、24時間冠水区、36時間冠水区、48時間冠水区、72時間冠水区、0時間冠水区(対照区)を設けた。処理は4.8齢となった、2011年5月10日に開始した水槽(縦28cm×横58cm×高さ31cm)に、各処理時間、植物体を育苗箱ごと水没させ、深さ31cmの冠水処理を行った(写真)。処理後の生育を調査するために、処理個体を、育苗培土「ヤンマーすこやか培土」3700gを充填した1/5000aワグナーポットに、1ポットあたり2箇所1個体ずつ移植し、調査は草丈および葉齢、茎数を処理前および処理直後、処理後16日、処理後23日、処理後30日、処理後36日、処理後43日、処理後48日、処理後59日、処理後79日に行った。同様に、穂数を処理後79日に調査した。



幼穂発達期の冠水処理 供試品種はコシヒカリ。2011年5月20日に播種し、1/5000aワグナーポットで生育させた水稲を、水槽(写真: 縦95cm×横145cm×高さ100cm)にポットごとに水没させて水深100cmの処理を行った(写真)。



穎花分化期 (出穂前16日: 図では穎分と略す)、花内容充実期(出穂前6日: 図では花充と略す)、登熟期前期(出穂後5日: 図では登前と略す)、登熟期後期(出穂後18日: 図では登後と略す)冠水処理を行わない対照区を設けた。各処理区の冠水時間は、穎花

分化期および花粉内容充実期で24時間(24h)、72時間(72h)の2処理区を設け、登熟期前期および登熟期後期は48時間(48h)の1処理区とした。処理後、穂が成熟するまで生育させた。また、穂が成熟した後刈り取り、2週間乾燥させ、茎葉乾物中および根乾物中、1穂重、1穂あたりの粒数、1粒重、1次枝梗と2次枝梗の構成を調査した。

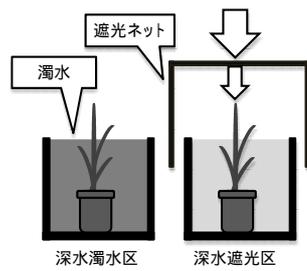
2) 水稲の生育に及ぼす濁水および寡照の影響

材料と方法

栽培 供試品種はコシヒカリ。2011年5月30日に1/5000aワグナーポットに1ポットあたり2個体で移植。同年7月7日の幼穂分化期まで生育させた水稲に次の処理を行った。

濁水処理 水深5cmの対照浅水区、水深30cmの深水区、濁水による冠水を想定して茶色水彩絵具で着色した濁水とした深水濁水区を設定し、7月8日から7月22日までの2週間の処理を施した(図)。冠水はポットをコンテナ水槽に沈めて行った。処理解除後は全ての区を浅水区と同一の管理で育てた。生育調査は約1週間ごとに行い、途中2度のサンプリングを行った。収穫後は風乾させ、茎葉部および根の乾物重、個体あたりの穂重、1穂重について調査した。

遮光処理 2011年7月8日にポットを大型コンテナ水槽に沈めて深水とした水稲に、悪天候の寡照を想定して遮光ネット被せた深水遮光区を設定した(図)。なお、深水遮光区には遮光率40、60、80%の深水遮光小区、深水遮光中区、深水遮光大区を設けた。処理は7月22日までの2週間施し、処理解除後は全ての区を浅水区と同一の管理で育てた。生育調査は、草丈、葉齢、茎数、葉色値について行った。



処理の模式図

3) 冠水時期の違いが分けつと倒伏に及ぼす影響

材料と方法

供試品種はコシヒカリ。2012年5月16日に播種し、4.2葉期に5000分の1aワグナーポットに1ポット2個体で移植し、生育させた。冠水処理は、分けつ盛期(播種後43日)と幼穂分化期(播種後60日)の2期に行い、水槽(縦95cm×横145cm×高さ100cm)にポットごとイネを水没させて行った(水深約80cm)。処理期間はそれぞれ1日(1日区)、4日(4日区)、8日(8日区)の3処理区とし、対照として冠水処理を行わない0日区を設けた。処理は1処理区あたり6ポット12個体。処理終了後は0日区と同一条件で屋外にて成熟

期まで生育させた。

4) 冠水時の水温が生育、収量、米粒品質に及ぼす影響

供試品種はコシヒカリ。2013年5月24日に葉齢4.3の苗を1/5000aワグナーポットに1ポットにつき1本植えて2本移植した。冠水処理はポットで生育させた水稲を水深97cmの水槽にポットごと沈めることで行った。なお、その他の栽培期間中の水位は地際から3cmとした。冠水時期は分けつ盛期(6月19日)と幼穂分化期(7月11日)の2期とした。水温はガラス室内で冠水させた高温区(H)、屋外で冠水させた通常温区(L)の2区を設けた。平均水温は分けつ盛期でそれぞれ27.1、24.3、幼穂分化期でそれぞれ33.7、30.1であった。またそれぞれの冠水時期、温度において、1日間、4日間、および8日間冠水の3区を設けた。対照区として、冠水処理をせず、屋外で生育させたものを設けた。

4. 研究成果

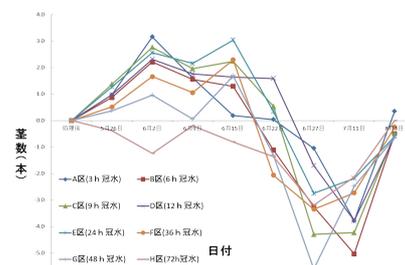
1) 異なる生育段階における短期間の冠水が生育および収量構成要素に及ぼす影響

生育初期の冠水処理

草丈は、3時間冠水区、6時間冠水区、9時間冠水区、12時間冠水区、24時間冠水区および36時間冠水区において、処理完了後に対照区と比べて伸長が劣る傾向がみられた。また、48時間冠水区と72時間冠水区では、処理完了後に対照区と比べて大きく伸長した。しかしながら、各処理区の草丈は、出穂期に向かうにしたがって対照区との差が小さくなっていく傾向がみられ、出穂期以降には、すべての処理区で対照区と比べて有意な差はみられなかった。

葉齢は、すべての処理区において、処理完了後から出穂期まで、対照区と比べて差がなかった。また止葉葉位は、すべての処理区で対照区と比べて約0.1~0.6齢小さくなったが、有意な差はみられなかった。

茎数は、72時間冠水区を除くすべての処理区で、処理完了後から出穂2週間前まで、対照区と比べて約1本~3本多くなったが、出穂時期には対照区と比べて約2本~4本少なくなった。72時間冠水区では、処理直後から出穂時期まで継続的に茎数が減少した。しかしながら、出穂3週間にはすべての処理区において、対照区と比べて茎数

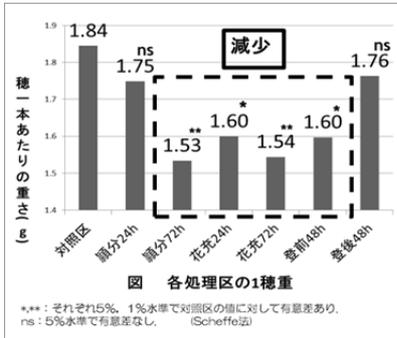


冠水処理による茎数の推移

に差はみられなかった。

幼穂発達期の冠水処理

すべての冠水処理区で対照区に比べて、1穂重の減少がみられた。しかし、



穎花分化期 24h 区と登熟期後期 48h 区では、対照区と差はなかった。一方で、穎花分化期 72h 区、花粉内容充実期 24h, 72h 区、登熟期前期 48h 区の 1穂重には差がみられ、生育段階により、冠水による被害程度は異なることが明らかとなった(図)。冠水処理による穂重減少の要因を明らかにするために、穂重減少区の穂上の 1次, 2次枝梗について、枝梗別に枝梗数、着生全粒重、全粒数、1枝梗あたりの着粒数、1粒重の各要素を調べたところ、1次枝梗の全要素および2次枝梗に着生する 1粒重、1枝梗あたりの着粒数に有意な差はみられなかった。一方で、2次枝梗の枝梗数、2次枝梗着粒数、2次枝梗着粒重は対照区に比べて減少がみられた。よって、穂重の減少は、2次枝梗の数の減少のために粒数が減り、2次枝梗着粒重が減少したためだと考えられる。

2) 水稻の生育に及ぼす濁水および寡照の影響

濁水処理 処理 6日目から深水区、深水濁水区で草丈の伸長がみられた。その後、深水区では伸長速度の低下がみられたが、深水濁水区の伸長は 12 日目まで継続した。処理解除後 3 日目には深水区と深水濁水区はほぼ同程度となった。登熟期に根および茎葉部の乾物重、個体あたりの穂重、1穂重を調査したところ、いずれにも差はみられなかった。

登熟期の茎葉部および地下部の乾物重と収量性

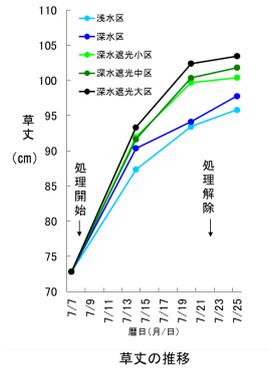
処理区	茎葉重	根重	穂数	総穂重	1穂重	収穫指数
	(g/株)	(g/株)	(本/株)	(g/株)	(g/本)	(%)
浅水区	31.4 b	6.21 a	18.1 a	32.0 a	1.78 a	50.6 a
深水区	35.3 ab	5.06 a	16.5 a	27.1 b	1.65 ab	43.5 b
深水濁水区	35.9 a	5.31 a	17.1 a	27.7 b	1.63 b	43.5 b

※: 同一英小文字を付した区間にはSceffe法による有意差(5%水準)が認められないことを示す。

このことは処理後の草丈の伸長によって、草丈の 70% が水面上に展開し、水面上の葉が物質生産を担うことから処理中の生育に多少の違いがあるものの濁水の影響は継続せず、収量への影響は小さかったものと考えた。

遮光処理 処理解除後の草丈は浅水区、深水区、深水遮光区の順で大きくなったが、処理解除直後の地上部乾物重では浅水区、深水区、深水遮光区の順で小さく、深水遮光区は深水の影響による伸長に、さらに遮光の影響

によって生じる充実度の劣る徒長生育が伴い、登熟期の草姿は大きくなびく、倒伏の危険性の高いものに変化した。また、個体あたりの穂重は、遮光



登熟期の乾物重と収量性に及ぼす寡照の影響

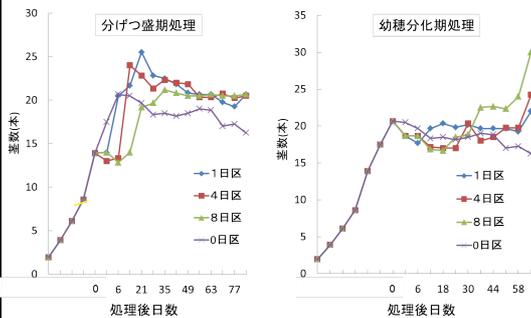
処理区	地上部 (g/株)	総穂重 (g/株)	1穂重 (g/本)
浅水区	31.4 a	32 a	1.78 a
深水区	35.3 a	27.1 b	1.65 ab
深水遮光小区	38.8 a	26.2 b	1.54 b
深水遮光中区	35.4 a	23.4 b	1.48 b
深水遮光大区	34.3 a	24.5 b	1.51 b

※: 同一英小文字を付した区間にはSceffe法による有意差(5%水準)が認められないことを示す。

が大きくなるにつれて有意に軽くなった。深水に伴う寡照は、水稻全体の光合成量の低下による物質生産の低下と、徒長による受光態勢の悪化がもたらす登熟不良や倒伏発生を、助長する可能性が示唆された。

3) 冠水時期の違いが分けつと倒伏に及ぼす影響

分けつの生育: 分けつ数への特異的な影響が、幼穂分化期処理の全ての区で生じ、登熟期からの茎数の再増加が見られた。8 日区では通常の栽培では出現しない伸長茎部の高位節からの分けつ(以後、空中分けつと呼ぶ)が出現した。すでに出現していた主茎を含む強勢な分けつが冠水のストレスを受けて頂芽優勢のバランスが崩れたために、休眠していた高節の分けつ芽が出現に至ったと考える。



冠水による分けつ数増加の推移

程の形態変化: 伸長節間への影響は処理時期で異なり、幼穂分化期処理で下位節の第 4 節の著しい伸長促進と、その一方で、処理後に伸長する上位節の第 5 節で伸長抑制が認められ、その程度は冠水日数が長いほど大きかった。また

冠水期間による下位の伸長節間の強度変化

	強度(N)	
	第V節	第IV節
幼穂分		
0日区	16.38a	11.71ab
1日区	12.19ab	12.71a
4日区	14.56ab	14.68a
8日区	10.52b	8.91b

同一英小文字間には各項目において5%水準で有意差がないことを示す(Sceffe法)。

各節間の強度は、冠水日数が長いほど低下し（表）、植物体の重心が上部へと移行した。このような変化は、植物体基部が上部を支えきれず、耐倒伏性を弱める形態変化をもたらした（写真、幼穂分化期処理 8 日間処理完了直後）。



収量構成要素に与える影響：1 株あたりの収量の低下は、分けつ盛期処理では見られなかったが、幼穂分化期処理の冠水日数が長い 4 日区、8 日区で顕著であった。1 株あたりの収量の減少は、全粒数の減少と精歩合の低下で 1 穂重が劣ることに因った。特に、幼穂分化期処理 8 日区の 1 株あたりの収量は、見かけ上の穂数は十分に確保されていたが登熟期に出現した空中分けつの穂の稔実が十分でなく充実粒が著しく減少したことで 0 日区の 50%程度となった。冠水が水稻の生育と収量に与える影響の程度は生育段階によって異なることが分かった。

冠水時期と期間が収量構成要素に及ぼす影響

	穂数 (本/株)	穂重 (g/穂)	穂長 (cm)	1穂全粒数 (粒/穂)	穂精粒数 (粒/穂)	精歩合 (%)	1株あたり収量 (g/株)	
分けつ 盛期	0日区	15.8a	1.57a	17.7b	70.1a	60.3a	84.9ac	24.7a
	1日区	19a	1.56a	16.9b	72.1a	65.8a	91b	29.7a
	4日区	20.8a	1.42a	20.8a	65a	58.3a	89ab	29.6a
	8日区	19.8a	1.45a	19.8a	69.7a	57.1a	81.6c	28.5a
	幼穂 分化期	0日区	15.8a	1.57a	17.7a	70.1ab	60.3a	84.9a
1日区	19a	1.58a	16.7a	77.7a	68.6a	88a	30.5a	
4日区	18a	1.14b	16.7a	63.8b	45.1b	69.6b	20.0bc	
8日区	20a	0.67c	13.3b	45.9c	26.2c	58.6c	13.4c	

同一小文字間には各項目において5%水準で有意差がないことを示す(scheffe法)。

4) 冠水時の水温が生育、収量、米粒品質に及ぼす影響

冠水処理により通常とは異なる分けつの生育が認められ、幼穂分化期処理では登熟期に分けつが再出現した。これは、冠水により抑制された分けつが、退水後に急速に再生長したためと考えられ、特に H で著しかった。幼穂分化期処理の 4 日区と 8 日区では高位節からの特異な分けつである空中分けつが見られた。収量は幼穂分化期処理で温度の影響を強く受け、すべての収量構成要素について、同一期間の処理区は L より H で劣り、また、冠水日数が長い程その影響は大きくなった（表）。分けつ盛期処理においても、1 株穂重と稔実歩合が H で低下した。粒の充実は、シンクである胚乳の細胞数および細胞の大き

冠水処理時期、期間、水温による収量構成要素の変化

処理区	期間	水温	穂長(cm)	全粒数(粒/穂)	精粒数(粒/穂)	稔実歩合(%)	精粒重(g/穂)	穂重(g/株)	収量指数(%)
分けつ盛期	1日	L	20.3	94	85	90.2	2.17	38.6	50
		H	19.6	94	84	89.0	2.12	39.2	48
	4日	L	19.5	91	83	91.1	1.97	37.0	48
		H	19.7	88	76	88.2	1.90	35.3	49
	8日	L	17.7	67	56	84.0	1.34	30.7	45
		H	18.4	82	66	80.1	1.63	27.0	42
幼穂分化期	1日	L	19.6	87	79	90.8	2.07	34.1	46
		H	19.9	82	72	89.6	1.78	29.6	40
	4日	L	19.0	80	62	77.7	1.52	29.6	37
		H	15.5	34	19	58.6	0.41	5.0	14
	8日	L	18.0	82	61	74.6	1.38	17.9	28
		H	13.7	28	16	60.7	0.36	4.3	12

L:冠水・通常温区, H:冠水・高温区, 穂長、穂重は各株主要な25本を、全粒数、精粒数および精粒重は各株主要な10本を適ひ平均を求めた。稔実歩合は精粒数/全粒数×100より算出。収量指数は穂重/地上部乾物重×100%より算出。各処理区を比較。

さならびにソースである茎葉からの転流物質量により決定されるが、冠水時高温による根系の活性低下や前述の登熟期の分けつ増加により転流が十分に行われなかったことが低収量の要因と考えた。全粒数に占める未熟粒数の割合は H でより低かったが、これは、全粒数と未熟粒割合には強い正の相関 (r=0.9)があり、粒数の減少によって 1 粒あたりに分配される炭水化物量が増加したためと考える。

以上の 1) ~ 4) 研究から、水稻の生育段階、照度条件により、冠水被害の程度が異なることが明らかとなった。また、水温の高低によって被害程度が異なり、高い場合には被害が強く出やすいことが明らかとなり、ゲリラ豪雨の発生時期、冠水源、発生地域によって影響が異なることが予想された。冠水による影響が生育や収量に強く出ると予想される生育段階、気温の高い時期や地域では素早い排水が必要とされ、一方で影響が小さい時期や状況では水田の貯水機能を「遊水池」として利用することで下流地域の 2 次災害を防ぐことに活用できると考えた。また、生産管理において、冠水被害を受けた時期や期間をもとに、被害程度の早期把握や収量予測を行うことに応用が可能と考えられる。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 0 件)

〔学会発表〕(計 2 件)

1. 大江真道・坂東彩希 2013. 短期間の冠水の時期および期間が日本型水稻の分けつ生育と倒伏抵抗性および収量に及ぼす影響. 日作紀 82(別 2): 76-77. (査読無し)
2. 松尾洋明・大江真道 2012. 幼穂発達期における短期間の冠水が水稻の収量構成要素に及ぼす影響. 日作紀 81(別 2): 78-79. (査読無し)

〔図書〕(計 1 件)

1. 大江真道 2012. イネの深水栽培. 農山漁村文化協会, 東京.

〔産業財産権〕

出願状況 (計 0 件)

取得状況 (計 0 件)

〔その他〕

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

大江 真道 (OHE, Masamichi)

大阪府立大学・生命環境科学研究所(系)・

准教授

研究者番号：60244662