

打込み同時施肥と播種後落水が湛水土中点播水稻の 出芽・苗立ちと初期生育に及ぼす影響

古畑昌巳¹⁾・岩城雄飛²⁾・野間貴文²⁾・有馬進²⁾

(¹⁾ 農業・生物系特定産業技術研究機構九州沖縄農業研究センター, ²⁾ 佐賀大学農学部)

要旨：打込み点播機を用いた水稻の湛水土中直播栽培において、緩効性肥料を用いた播種同時打込み施肥技術の確立をめざし、同時施肥が出芽・苗立ちに及ぼす影響をポットおよびコンテナ実験で検討した。同時施肥を想定した打込み区は、全層区に比べて出芽率ならびに地上部・地下部の初期生育が遅れる傾向を示した。また、土壌中のアンモニア態窒素濃度は打込み区が全層区に比べて高く推移した。この場合、播種後の落水管理をすることにより出芽率が向上し、加えて地上部・地下部の初期生育が促進され、同時施肥による初期生育の遅れが解消された。

キーワード：アンモニア態窒素, 稲, 打込み施肥, 根長, 出芽, 湛水直播, 苗立ち, 落水。

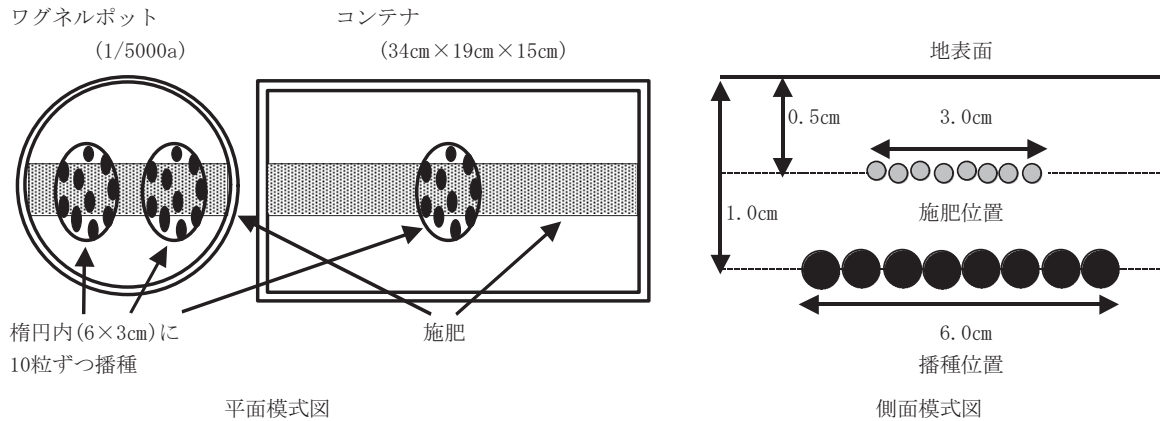
九州農業試験場（現九州沖縄農業研究センター）で開発された打込み式代かき同時土中点播直播栽培（下坪・富樫 1996a）は仕上げ代かき時に播種を行うので一定の播種深度が確保でき、浮き苗・転び苗の発生を抑制できる。また、点播状の播種によって大きな株が形成され、他の播種様式で行う湛水直播栽培に比べて耐倒伏性が高まるなど栽培上の利点もある（下坪・富樫 1996b, 吉永ら 2001）。本播種機は、高速回転する鋸歯型ディスクにより過酸化カルシウム剤で被覆した種子を打ち出す機構を有し、粒状肥料を供給することで、施肥と播種の同時化による基肥散布作業の省力化が可能である（吉永ら 1997）。また肥料の緩効成分の割合を高めることによって、基肥のみで従来の分施肥とほぼ同等の収量を確保した事例の報告もある（森田ら 2005）。しかし、打込み同時施肥は土壌全層に施肥する全層施肥に比べて出芽率の低下（吉永ら 1997）や初期生育の遅延も認められている。そのため、打込み同時施肥を行った点播水稻の出芽から苗立ちに至る生育経過を明らかにして生育遅延を回避する方策を検討する必要がある。

著者らは、本播種機による播種を想定した湛水土中直播試験を重ね、発芽・苗立ちに関する知見を得てきた。すなわち、過酸化カルシウム剤被覆種子を播種した後に落水管理を行うことにより、表層土壌の通気性が向上し、鞘葉、第1葉（不完全葉）も伸長を早期に完了して第2葉の抽出に移行するため、苗立ちが向上することを明らかにした（古畑ら 2005）。そこで、本研究では打込み同時施肥が幼植物の生育に及ぼす影響を明らかにするために、ポット栽培において播種同時施肥条件を作出し、全層施肥を対照として出芽・苗立ちに至るまでの地上部および地下部の生育を解析するとともに、幼植物の生育に関連すると考えられる土壌中の窒素濃度を測定した。その際、既報と同様に播種後の湛水管理に対する落水管理の生育促進効果を併せて検証した。

材料と方法

1. 試験区の設定

2004年4月30日に水稻品種「ヒノヒカリ」の催芽籾に、コーティングマシン（クボタ製 KC-15）を用いて過酸化カルシウム粉粒剤（過酸化カルシウム 16% 含有 商品名：カルパー粉粒剤 16）を乾籾重の2倍重量被覆して被覆種子を作成し、播種まで10℃で密封保管した。九州沖縄農業研究センター（福岡県筑後市和泉）内の水田土壌（細粒灰色低地土）を風乾砕土し、使用した。出芽・苗立ち調査用としては1/5000a ワグネルポットに、根系解析用としてはコンテナ（34 × 19 × 15 cm）にそれぞれ充填した。2004年5月6日に入水して代かきを行い、雨よけのためにビニールハウス内で管理した。翌日、土壌と表面水とが分離した後にポットおよびコンテナを傾けて表面水を流し、播種および施肥を行った。本実験での播種深と施肥深は、打込み式土中点播機による標準的な打込み速度と土壌硬度条件下での播種深が平均12 mmであること（富樫 2001）、播種深が平均10 mmの時の施肥深が平均5 mm前後であること、施肥量は種子量に比べて重量比で4～5倍程度に量が増えるため施肥が带状となることを考慮し、播種深を10 mm、施肥深を5 mmの带状に設定した。打込み同時施肥を想定した区（以下打込み区とする）では第1図に示した条件とした。ポットでは点播形状を想定した楕円（6 × 3 cm）を2箇所設け、各円内の土壌表面に被覆種子を10粒ずつ播種した。コンテナでは中央部に1箇所同様の楕円を設定し、被覆種子を10粒播種した。播種直後、代かき土壌を厚さ5 mmになるように均一に流し込み、さらに窒素成分で0.75 kg/aに相当する肥料 {速効成分：緩効成分（LP50）：遅効成分（LPSS100）= 1 : 3 : 6} を3 cmの幅で带状に施肥し、この上に代かき土壌を5 mmの厚さになるように覆土した。一方、対照とする全層施肥を想定した区（以下全層区とする）では作土深に相当する厚さの土壌に肥料を混和することが一般的であるが、打込み区と同様の播種深度設定



第1図 播種形状及び施肥位置の設定.

全層区は覆土 (厚さ1cm) に相当する代かき土壤全体に混和.

とし施肥日を播種同日としたため、打込み区と同様に被覆種子を土壤表面に播種し、窒素成分で 0.75 kg/a に相当する肥料を厚さ 1 cm の分量の代かき土壤と混和し、これを均一に流し込んで覆土した。打込み区および全層区それぞれに落水と湛水の2処理区を設けた。落水管理のポットおよびコンテナは、播種数時間後に駒込ピペットを用いて表面水を除去し、その後は土壤表面からの蒸発のみによる自然減水の落水状態とした。湛水管理のポットおよびコンテナには、くみ置きした水道水を1日3回加えて 1 cm の水深を維持した。なお、調査期間中のハウス内の日平均気温の平均値は、 22.3°C であった。

2. 出芽と苗立ち

出芽数、第1葉 (不完全葉) および第2葉が抽出した個体数を、播種後2週間、毎日調査した。また、播種後3, 5, 7, 10, 14日に、各12ポット (2区×2管理×3反復) から全ての個体を採取し、各個体の鞘葉と第1葉の全長、葉齢 (鞘葉のみ抽出した個体の葉齢を0、第1葉まで抽出した個体の葉齢を1とする)、種子、莖葉部と根の乾物重を測定した。この場合、第1葉長については第1葉の抽出した個体のみを測定した。本実験では、鞘葉が地表面に出現した個体を出芽個体、出芽後に鞘葉から第1葉を抽出し、第1葉鞘頂部から緑化した第2葉を抽出した個体を苗立ち個体とした。出芽個体数、第1葉抽出個体数および苗立ち個体数、乾物重については3反復 (3ポット) の平均値を求めた。また、鞘葉長、第1葉長は1ポット内の20個体の平均値を求めて、3反復 (3ポット) の平均値を算出した。さらにこれらのデータを使って播種から出芽、第1葉抽出および苗立ちまでの平均日数および斉一性を数量化するため、同じイネ科植物であるヒエ類の日別発芽率を数量化する手法 (山末2001) を適用して、以下の解析を行った。すなわち、まず播種粒数を N 、播種後日数を t 、日別の出芽数を n として、平均出芽日数 (日) $= \sum (t \cdot n) / \sum n$ 、斉一出芽係数 $= \sum n / \sum \{ (\text{平均出芽日数} - t)^2 \cdot n \}$ 、累積出芽

率 (%) $= 100 \times (\sum n) / N$ を求めた。ここで平均出芽日数は種子が出芽に要する日数の平均を示し、斉一出芽係数は毎日の出芽数をプロットした曲線を正規曲線とみなしたときの分散の逆数を示し、値が大きいほど斉一性が高いことを示す。累積出芽率は調査終了時 (播種後14日目) の出芽率を示す。また、日別第1葉抽出数および日別苗立ち数から平均第1葉抽出日数および平均苗立ち日数、斉一第1葉抽出係数および斉一苗立ち係数、累積第1葉抽出率および累積苗立ち率を算出した。

3. 根系解析

播種後4, 6, 8, 10, 14日目に各12個 (2区×2管理×3反復) のコンテナから出芽個体10個体を慎重に洗い出しFAA溶液で保存した。根系の生育が中庸な5個体を選び、根をクリスタルバイオレット0.25%溶液で染色した。各根系の形状をイメージスキャナーにより画像データとしてパソコンに取り込み、Kimura and Yamasaki (2001) の画像解析法によって根長および根端数を測定した。また、根長および根端数については各処理ごとに5個体の平均値を求めて、さらにこれらの3反復 (3コンテナ) の平均値を算出した。

4. 種子近傍の土壤の硝酸態窒素およびアンモニア態窒素含量の測定

2004年12月10日、コンテナ (34×19×15 cm) に土壤を充填し、代かきを行い、表面水を除去した後、施肥および覆土を行った。この実験では播種を行わず、帯状施肥および覆土の設定は上記1.と同様とした。コンテナは温度設定を $25.0^\circ\text{C} \cdot 12 \text{ 時間}$ 、 $20.0^\circ\text{C} \cdot 12 \text{ 時間}$ (平均気温 22.5°C) とした恒温器内に設置し、落水管理と湛水管理を設けた。分析用土壤は、打込み区で施肥後0, 3, 5, 7, 10, 14日目にコンテナ中央の施肥位置において100 mL 土壤コアを用いて土壤表面から深さ5 cmまでの土壤を3反復 (3コンテナ) で採取し、全層区も同時期に同様の箇所

において採取した。抜き取った土壌は生土のまま均一に混ぜた後、10gをポリ瓶に採取して10%塩化カリウム溶液で1時間振とう抽出を行った。その後、ろ過を行い、溶液を分析時まで4℃で保管した。硝酸態窒素およびアンモニア態窒素濃度の測定はオートアナライザー（BRAN+LUEBBE製 TRAACS800）を用いて行った。

結 果

1. 出芽・苗立ちに及ぼす影響

出芽については、平均出芽日数に処理区間で大きな差は認められなかったが、累積出芽率は、湛水区では施肥の影響が認められ、打込み区で全層区に比べて10ポイント低下したのに対し、落水区では施肥法による差は小さかった（第1表）。第1葉の抽出については、落水区は湛水区に比べて平均抽出日数が有意に短く、斉一性は有意に高まったが、施肥の影響は認められなかった。このような傾向は苗立ちについても同様に認められた。なお、本実験では出芽個体は全て第1葉抽出個体および苗立ち個体へ移行したため、累積出芽率の値は累積第1葉抽出率および累積苗立ち率と同じになった。

2. 鞘葉長、第1葉長、葉令および乾物重に及ぼす影響

鞘葉の伸長は湛水区で旺盛で落水区の約1.7倍の長さまで伸長したが、施肥法の影響は認められなかった（第2図）。このような傾向は第1葉の伸長についても同様に認められた。

葉齢は施肥法および水管理の影響を受け、同じ水管理では打込み区が全層区より0.3前後遅れる傾向を示した（第2表）。また、同じ施肥法では落水区は湛水区に比べて0.5～0.6進む傾向を示した。

種子乾物重は播種後に直線的に減少した（第3図）。その減少程度は施肥法および水管理の影響を受け、打込み区よりも全層区で、湛水区よりも落水区で種子乾物重の減少程度が大きかった。一方、茎葉部と根の乾物重は、播種後5日目頃から直線的に増加した。その増加程度は施肥法および水管理の影響を受け、打込み区よりも全層区で、湛水区よりも落水区で茎葉部と根の乾物重の増加程度が大きくなる傾向を示した。

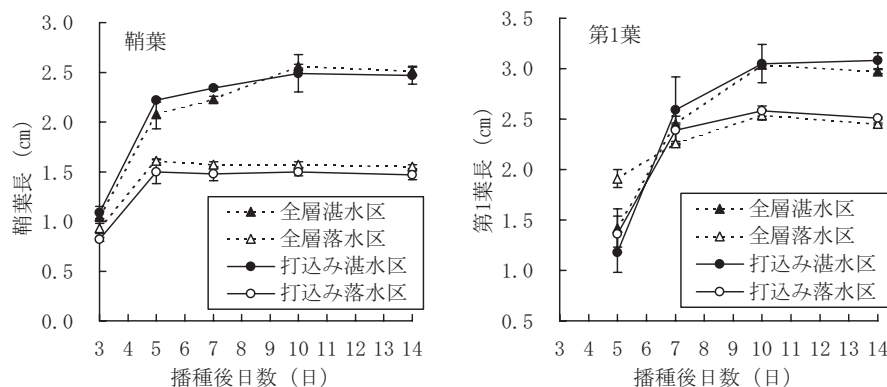
3. 根系形成に及ぼす影響

全根長については、同じ施肥法では落水区が湛水区に比べて生育期間を通じて長かった。また、同じ水管理では施

第1表 異なる施肥法と播種後水管理が出芽、第1葉抽出、苗立ち特性に及ぼす影響。

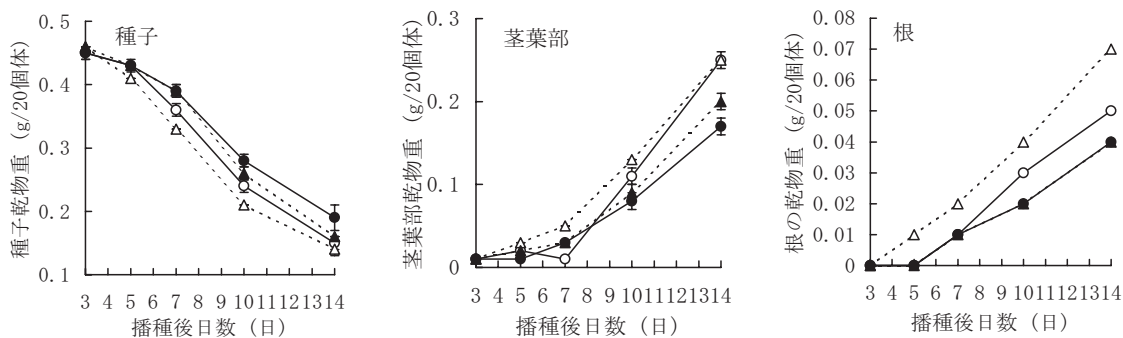
施肥法	播種後 水管理	出芽			第1葉			苗立ち		
		平均出芽 日数 (日)	斉一 係数	累積 出芽率 (%)	平均抽出 日数 (日)	斉一 抽出 係数	累積 抽出率 (%)	平均苗立ち 日数 (日)	斉一 苗立ち 係数	累積 苗立ち率 (%)
全層区	湛水	4.1	0.6	95.0	5.7	0.4	95.0	6.3	0.4	95.0
	落水	3.9	0.5	98.3	5.0	1.0	98.3	5.5	1.0	98.3
打込み区	湛水	4.1	1.1	85.0	5.7	0.5	85.0	6.4	0.5	85.0
	落水	4.3	0.6	95.0	5.2	1.0	95.0	5.5	1.0	95.0
施肥法 (A)		ns	ns	**	ns	ns	**	ns	ns	**
播種後水管理 (B)		ns	*	**	**	**	**	**	**	**
A×B		ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns

**, *: 分散分析の結果, 1%および5%水準で有意差があることを示す。ns: 有意差なし。



第2図 鞘葉長および第1葉長の推移。

縦棒は標準誤差 (n=3)。



第3図 種子、茎葉部および根の乾物重の推移。

▲：全層湛水区，△：全層落水区，●：打込み湛水区，○：打込み落水区。

縦棒は標準誤差 (n=3)。

第2表 異なる施肥法と播種後水管理が播種後14日目の葉齢に及ぼす影響。

施肥法	播種後水管理	葉齢
全層区	湛水	3.0±0.1
	落水	3.5±0.1
打込み区	湛水	2.6±0.1
	落水	3.2±0.0
施肥法 (A)		**
播種後水管理 (B)		**
A×B		ns

数値は平均値±標準誤差。**：分散分析の結果，1%水準で有意差があることを示す。

ns：有意差なし。

肥法による差は小さかったが，打込み区は全層区に比べて短い傾向を示した（第4図）。このような傾向は根端数についても同様に認められ，落水区の根端数は湛水区に比べて播種後10日目頃まで多く推移したことから根の分岐の促進が示唆された。

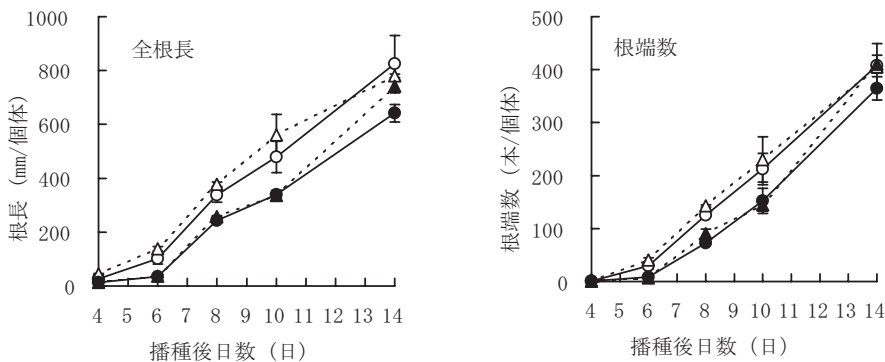
4. 土壌のアンモニア態窒素および硝酸態窒素濃度に及ぼす影響

アンモニア態窒素濃度は打込み区で全層区の2倍近い10～15 mg/乾土100 gの範囲で高く推移した。また，打込み区では落水区が湛水区に比べて高く推移した。硝酸態窒素濃度はアンモニア態窒素濃度に比べて施肥法による区間差異が小さかった。いずれも5 mg/乾土100 g前後で推移したが，播種後水管理ごとに同様の推移を示し，落水区では落水処理の数日後にほぼ半減し，土壤水分が低下した7～14日目にかけて増加して安定したのに対し，湛水区では漸減した（第5図）。

考 察

1. 打込み施肥の生育阻害を緩和する落水管理

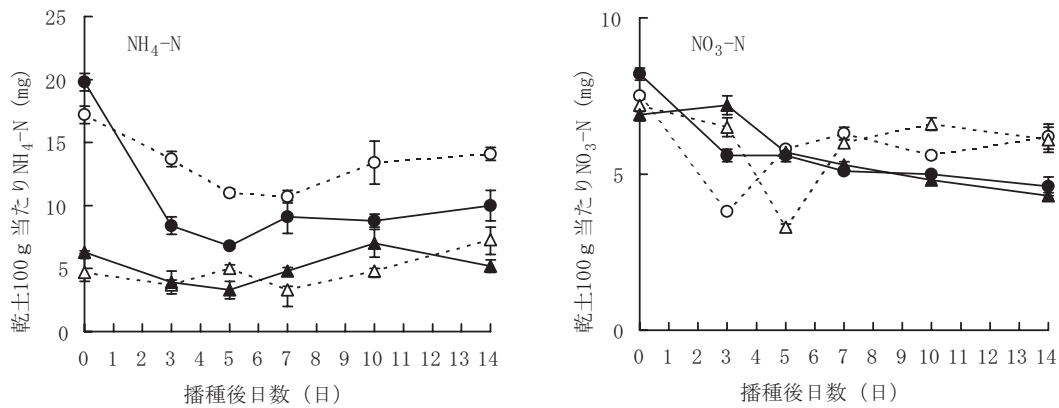
本実験の打込み区は全層区に比べて出芽率を低下させ，地上部および地下部の初期生育を遅らせる傾向を示した（第1表，第2表，第3図，第4図）。このことは，種子近傍の肥料濃度が関与して何らかのストレスとなり生育を阻害したと考えられ，種子近傍に肥料があることによって出芽・苗立ちが劣ることを指摘した渡部ら（1990）の報告と同様の結果となった。一方，本実験で用いた肥料は吉永ら（1997）の報告で用いた肥料と緩効度が異なり，速効成分



第4図 全根長，根端数の推移。

▲：全層湛水区，△：全層落水区，●：打込み湛水区，○：打込み落水区。

縦棒は標準誤差 (n=3)。



第5図 土壌のアンモニア態および硝酸態窒素濃度の推移。

▲：全層湛水区，△：全層落水区，●：打込み湛水区，○：打込み落水区。
縦棒は標準誤差 (n=3)。

の割合が低いことが出芽への影響を小さくした可能性がある。吉永ら (1997) の報告は圃場試験のため、本実験と直接比較を行えないが、種子近傍に設置された肥料の緩効度が出芽・苗立ちに及ぼす影響については別途検討し、報告したい。

本実験における打込み同時施肥の生育抑制は湛水条件において顕著に認められたが、落水管理を行うことで出芽率ならびに地上部・地下部の生育が促進される傾向が認められた (第1表, 第2表, 第3図, 第4図)。この結果は、著者らが既報 (古畑ら 2005) で確認してきた落水管理の生育促進効果であり、播種後落水管理下の乾物重が湛水管理に比べて増加すること (Sato and Maruyama 2002)、播種後落水は出芽後の生育を促進すること (Tsuchiya and Maruyama 2004) などの報告とも一致している。したがって、湛水直播における打込み同時施肥は、播種後落水管理と組み合わせることによって初期生育の遅れを小さくして、全層施肥を行った場合とほぼ同等の生育を確保できるものと考えられた。

2. 打込み施肥による土壌窒素濃度の上昇と出芽・苗立ちの関連

Hara and Toriyama (1998), 菅野ら (1999) は湛水直播水稻における土壌溶液中のアンモニア態窒素濃度の上昇が出芽・苗立ちを低下させるとしている。本実験においても打込み区では種子近傍のアンモニア態窒素濃度が全層施肥に比べて明確な上昇を見せ (第5図)、出芽の低下や地上部・地下部の初期生育を遅らせた主要因になっていると考えられた。しかし、本実験では土壌中のアンモニア態窒素濃度が最も高く推移した打込み区の落水管理では出芽・苗立ちに対する抑制は、湛水管理より軽微であり (第1表)、このことはアンモニア態窒素濃度のみで生育抑制が説明できないことを示している。これについて、播種後に落水管理を行うことによって表層土壌の通気性が向上した (古畑ら 2005) ため、土壌中のアンモニア態窒素による生育抑制

が緩和されたと考えられた。

本実験では、土壌中のアンモニア態窒素濃度は別途設定・採取した土壌について測定したために、生育中の幼植物が受けたストレスの程度を正確に示し得たかどうかという点も検討しなければならず、今後は生育中の幼植物の反応を細かく測定すると同時に土壌中種子近傍のアンモニア態窒素の動態を含めた土壌環境をリアルタイムでモニターしたデータからの解析が必要であろう。いずれにせよ、アンモニア態窒素が出芽・苗立ちを阻害するという現象については確認されているが (Hara and Toriyama 1998, 菅野ら 1999)、土中播種された種子の生長に対しアンモニア態窒素がどのように影響を及ぼすかについては十分に明らかにされていない。打込み同時施肥を行った水稻について栽培面のみならず品種面からも出芽・苗立ちの向上を図るためには、今後アンモニア態窒素がイネの幼植物の生長に対する作用機作の詳細を明らかにしていく必要があるが、このことについては別途報告する予定である。

3. まとめ

以上のことから、播種と同時に打込み施肥を行った水稻では、湛水管理した場合には全層区に比べて出芽率は低下し、地上部・地下部の初期生育が遅れる傾向を示したが、播種後の落水管理により出芽率が向上し、加えて地上部・地下部の初期生育が促進され、同時施肥による初期生育の遅れが解消されることが示唆された。

謝辞：本研究の土壌分析に当たり、九州沖縄農業研究センター環境資源研究部の荒川祐介主任研究官にご協力頂きました。ここに記して感謝の意を表します。

引用文献

- 古畑昌巳・楠田宰・福嶋陽 2005. 落水処理による土壌三相構造の変化が湛水直播水稻の出芽と苗立ちに及ぼす影響. 日作紀 74: 1-8.
Hara, Y. and K. Toriyama. 1998. Ammonium nitrogen in soil solution and seed nitrogen affect the percentage of establishment of rice plants in

- submerged soil. *Soil Sci. Plant Nutr.* 44 : 415–422.
- 菅野千秋・佐藤健司・酒井博幸 1999. 土壌中のアンモニア態窒素濃度が直播水稻の出芽に及ぼす影響. *日作東北支部報* 42 : 5–7.
- Kimura, K. and S. Yamasaki 2001. Root length and diameter measurement using NIH Image. Application of the line-intercept principle for diameter estimation. *Plant and Soil* 234 : 37–46.
- 森田弘彦・吉永悟志・古畑昌巳・山下浩 2005. 代かき同時土中点播直播における播種同時打込み施肥技術. *九州沖縄農研研究資料* 91 : 43–49.
- Sato, T. and S. Maruyama 2002. Seedling emergence and establishment under drained conditions in rice direct-sown into puddled and leveled soil - Effect of calcium peroxide seed coating and sowing depth -. *Plant Prod. Sci.* 5 : 71–76.
- 下坪訓次・富樫辰志 1996a. 水稻の代かき同時土中直播栽培に関する研究. 1 点播直播について (予報). *日作紀* 65 (別 1) : 12–13.
- 下坪訓次・富樫辰志 1996b. 水稻の代かき同時土中直播栽培の確立に関する研究. 2 点播水稻と条播水稻の押倒し抵抗の比較. *日作紀* 65 (別 1) : 14–15.
- 富樫辰志・下坪訓次・吉永悟志 2001. 水稻代かき同時打込み点播機の作業性能および栽培特性. *農作業研究* 36 : 195–203.
- Tsuchiya, M. and Maruyama 2004. Growth enhancement by during seedling establishment in rice direct-sown into puddled leveled soil. *Plant Prod. Sci.* 7 : 324–328.
- 渡部富男・和田潔志・小山豊・西川康之・恵畑康利 1990. 水稻の早期栽培地帯における湛水土中直播栽培法に関する研究. 2. 出芽・苗立ちの安定化. *千葉農試特報* 17 : 3–22.
- 山末祐二 2001. 雑草科学実験法 第 1 章 雑草の生物・生態に関する試験 第 2 節 雑草の形態・生理・生態に関する調査 第 4 項 種子の休眠・発芽調査法. ニッセイエプロ, 東京. 54–55.
- 吉永悟志・西田瑞彦・富樫辰志・下坪訓次 1997. 代かき同時土中点播栽培における播種同時打込み施肥が水稻の生育に及ぼす影響. *日作九支法* 63 : 3–6.
- 吉永悟志・脇本賢三・田坂幸平・松島憲一・富樫辰志・下坪訓次 2001. 打込み式代かき同時土中点播栽培による湛水直播水稻の耐倒伏性向上—播種様式および苗立ち密度が耐倒伏性に及ぼす影響—. *日作紀* 70 : 186–193.

Influences of Simultaneous Shot of Fertilizer and Seed and Drainage of Flooded Water after Seeding on Seedling Emergence and Establishment and Early Growth of Rice Plants in Submerged Hill Seeding : Masami FURUHATA¹⁾, Yuuhi IWAKI²⁾, Takafumi NOMA²⁾ and Susumu ARIMA²⁾ (¹⁾*Natl. Agr. Res. Cent. for Kyushu Okinawa Region, Chikugo 833-0041, Japan;* ²⁾*Fac. of Agri., Saga Univ.*)

Abstract : The effect of shooting a slow-release fertilizer with the seed and draining after submerged direct seeding on the establishment of rice seedlings were investigated in pots and containers using a “shooting hill-seeder.” In the pots (containers) seeded with fertilizer, the early growth of the aerial part and the subterranean part were slower than in the pots (containers) with fertilizer incorporated into the plowed layer. The soil with the fertilizer shot had a higher ammonium nitrogen content than the soil with fertilizer incorporated into the plowed layer. Seedling emergence and establishment were improved in the pots with the fertilizer shot that had been draining the flooded water after seeding of rice, and the early growth of the aerial part and the subterranean part were also promoted by the draining compared with that in flooded pots. These results suggest that the delay of the early growth by simultaneous shooting of fertilizer with seed was reduced by draining.

Key words : Ammonium nitrogen, Drainage of flooded water, Fertilizer shot, Rice, Root length, Seedling emergence, Seedling establishment, Submerged direct seeding.