

流し込み施肥による穂肥施用の省力化と

水稻の生育，収量への影響

大森誉紀 木村浩*

Effects of topdressing method with irrigation water flow in paddy field on the labor saving of paddy field fertilization or the growth and yield of paddy rice

OOMORI Takanori and KIMURA Hiroshi

要 旨

水稻の全量基肥施肥体系でも生育中の葉色が薄いと追肥が必要と判断される場合があることから、省力追肥法として流し込み施肥による追肥試験を行った。流し込み施肥による液肥の圃場内への拡散では、20a 水田内の田面水濃度は水口で低く水尻で高かった。流し込み施肥による追肥作業は、動力散布機での追肥より労働負荷は小さく、軽労働と判断できた。‘ヒノヒカリ’において追肥前の幼穂形成期の葉色が 32 の時に流し込み施肥で N4kg を追肥（全 N 施用量は 10kg）したが倒伏はなかった。流し込み施肥による追肥で葉色が高まり、地上部重や窒素吸収量も高くなることで収量が高まった。しかし、追肥 N の利用率は 43% で、一般的な化成肥料を穂肥として追肥した時の利用率より低かった。

キーワード：流し込み施肥，全量基肥施肥，均一拡散性，施肥窒素利用率，ステップテスト心拍数比

1. 緒言

水稻の栽培規模の拡大や高齢化の進展等に伴い、県内でも施肥の省力化が可能となる全量基肥施肥体系が広く浸透している。一方で生産現場からは、近年は収量や玄米品質が低下する事例がみられるようになり、水稻生育期間中の高温化による被覆肥料からの溶出の前倒しと、これに伴う生育後半の窒素不足が影響しているとの意見が聞かれるようになった。このため、全量基肥施肥用に開発された被覆緩効性肥料を施用しても水稻の生育によっては穂肥を施用することが一般的になっている地域もあり、近年はこの考え方が県内に徐々に浸透し始めている。

例えば、県内で生産量の多い‘ヒノヒカリ’の施肥基準は、高度化成肥料を用いた分施肥体系での施肥窒素量が基肥 4 kg/10a、穂肥 4 kg/10a である。全量基肥施肥体系の施肥窒素利用率は一般に分施肥体系より高いため、全量基肥施肥体系における施肥窒素量は分施肥体系の 8 割程度でよいとされている。このため、県内で‘ヒノヒカリ’を栽培する場合は、

窒素量で 6~7 kg/10a 程度を施用することが多いと思われる。すなわち、天候等の影響で、全量基肥施肥体系の施肥窒素利用率が期待値より低い場合は、特に生育後半の肥効不足となることから、全量基肥施肥体系でも分施肥体系より減肥した量程度の追肥は必要な場合があり得るとと思われる。

穂肥には、NK 化成肥料や高度化成肥料を用いる場合が多く、小規模な経営体では手散布で施肥が行われているが、一区画が大きい基盤整備田や栽培規模が大きい経営体では今でも動力散布機を使用することが多い。手散布や動力散布機による穂肥施用は労力がかかり、より省力的な追肥法の確立が望まれている。

省力的な追肥法の一つに、流し込み施肥法が挙げられる。流し込み施肥の実用性の検討は 1960 年代から実施されており（山崎ら 1965, 山崎ら 1967），その後、30a 区画圃場における顆粒状肥料の水口流入施用（市川ら 1995），尿素を主体とする液体肥料を用いた均一拡散性が高い施用法（高橋ら 1998），大区画水田でも均一施肥が可能となるよう液

*元 愛媛県農林水産研究所

状肥料を一定流量で施用できる施肥器の利用(土田 2005), 地耐力維持のために浅水管理が必要な飼料イネ栽培に適した硫安流し込み施肥法(関矢ら, 2009)などが考案されている。また, 金子・橘田(2017)は, 流体力学的解析を用いて均一施肥が可能となる流し込み施肥の条件を明らかにした。

以上のように, 本県では水稻の全量基肥施肥体系でも追肥が必要な場合があることから, その省力追肥法として流し込み施肥を用いた試験を行い, 本県における流し込み施肥の実用性の検討と導入時の留意点を明らかにしたので報告する。

なお, 本試験は 2015 年度および 2016 年度 JA 全農肥料委託試験で取り組んだ。流し込み施肥の資材や施用方法については, 住友化学株式会社に協力いただいた。

2. 材料および方法

1) 全量基肥施肥体系における流し込み施肥を用いた追肥の効果確認

試験は 2015 年に農林水産研究所 A33 号水田, 2016 年に A34 号水田で実施した。土壌の種類は, 両圃場とも花崗岩に由来する中粗粒灰色低地土で, 圃場の形状と面積は A33 号水田が台形(上底 94m, 下底 113m, 幅 19m)で 20a, A34 号水田が長方形(長辺 113m, 短辺

19m)で 21a であった。移植は, 2015 年が 6 月 11 日, 2016 年が 6 月 18 日で, 栽植密度と品種には, 両年とも 15.2 株/m²(条間 30 cm, 株間 22 cm)で‘ヒノヒカリ’を用いた。

基肥には JA 市販の被覆緩効性肥料(N:P₂O₅:K₂O=14:10:10(%), 速効性 N 26%, LPS80 20%, LPSS100 20%, LP140 34%)を用い, 追肥は S 社市販の液肥(N:P₂O₅:K₂O=20:2:2(%))で, N の内訳は TN20.0%, AN2.7%, NN2.0%)を用いた流し込み施肥とした。液肥は容量 20L のテナー容器に入っており, キャップに 1~2mm 程度の穴を開け, 灌漑水の流入とともにキャップの穴から液肥を滴下することで圃場全面に肥料を行き渡らせることとした。

2015 年の試験区は, 基肥の窒素施用量を入水前に全面施肥とし 10, 8, 6, 4 kg/10a の 4 水準とし, 1 区 130 m², 3 反復を乱塊法で設置した圃場へ, 流し込み施肥によって圃場全面に窒素成分で 2 kg/10a を施用した。試験区名は順に N10+2, N8+2, N6+2, N4+2 区とし, 追肥は 8 月 5 日に行った。流し込み施肥前の田面水は, 足跡に水が残る程度に落水した後, 液肥 20 kg を滴下しながら約 2 時間で流し入れ, さらに 3 時間灌漑水の入水を続け田面水の水深を 6 cm とした。その後, 6 日間は入水しなかった。なお, 水口は圃場短辺側の東隅にあり, 水尻は他方の短辺の西隅にある(図 1)。

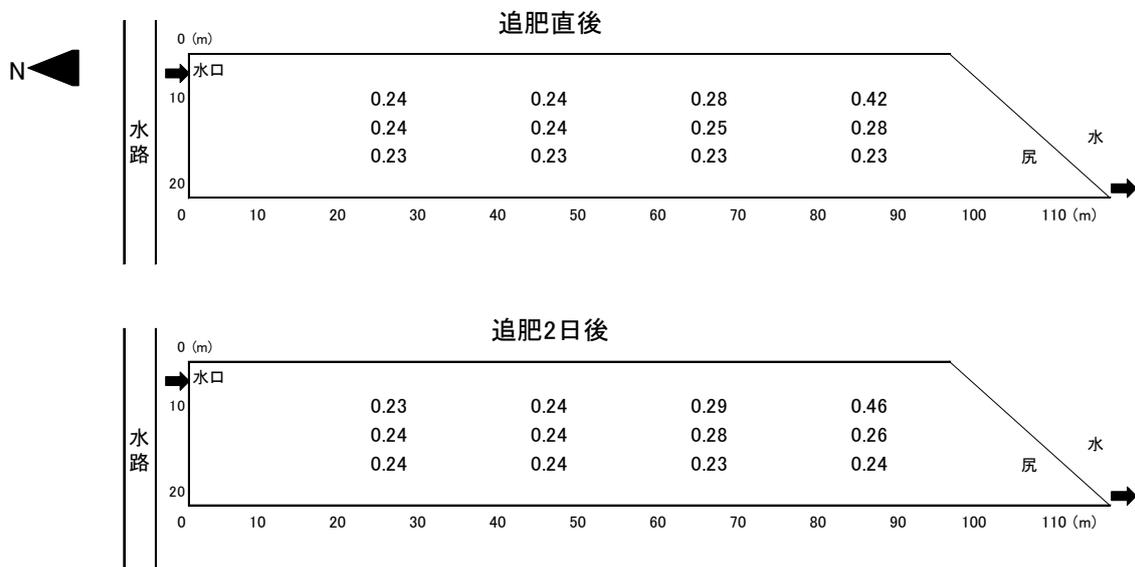


図 1 A33 号田見取り図と流し込み施肥後の田面水 EC (2015 年)

2016年の試験区は、基肥の窒素成分で6kg/10aを側条施肥した圃場に、流し込み施肥によって窒素成分で4kg/10aを追肥した追肥区と、追肥をしなかった無追肥区を設けた。無追肥区は、供試圃場の水口から20m、40m、60mの位置に10m×10mの区画を畦シートで囲い、流し込み施肥を行っている灌漑水が直接、無追肥区内に入らないように設置した(図2)。中干しは7月26日から8月4日まで行い、追肥は出穂22日前の8月5日に行った。中干し後は、乾いた土壌に走水を行い土壌を湿らせておき、施肥直前は完全に落水した。その後、液肥を水口の灌漑水へ滴下し、流し込み施肥による追肥を行った。水路幅25cm、水深6cm、流速0.5m/秒であったことから灌漑水量は7.5L/秒と計算できたので、液肥2袋を同時に滴下し液肥をほ場全体に拡散させるとともに(写真1)、目標水深を5cmとし入水から3時間43分で追肥終了とした。灌漑水の入水終了時には、液肥タンクはほぼ空で、残量を出し切って施肥作業終了とした。

2015年の調査では、圃場の短辺方向に3等分し、長辺方向に4等分した位置において田面水のECを携帯型EC計で測定し、肥料の圃場内での均一拡散性を判定した(図1)。また、水稻の稈長、穂数、収量構成要素、精玄米重および玄米品質調査を行った。精玄米重、千粒重は篩目1.8mm以上に調整後、水分14.5%に補正した。玄米の整粒割合はES-1000(静岡製機)、玄米タンパク含有率はPS-500(静岡製機)で測定した。倒伏は0(無)~5(甚)で評価した。

2016年の調査では、圃場を長辺方向に2等分し東側または西側とし、水口側短辺から10

m間隔で田面水のECと水深を、追肥直後、1日後および3日後に測定した。なお、追肥区と無追肥区の比較においては、水口側短辺から20~60mの範囲内の無追肥区3か所、追肥区7か所について比較した(図2)。圃場的水深は湛水時にはメジャーで実測し、足跡水の場合には0.5cmとした。水稻の生育、収量、収量構成要素等は前年と同様に調査し、窒素吸収量は穂とわらに分けて測定した。

2) 流し込み施肥の追肥作業省力効果の確認

試験は2016年に行った。流し込み施肥を行ったA34号水田を流し込み区とし、粒状化成肥料を動力散布機で散布した圃場を慣行区とし、両圃場での水稻追肥時の作業性を比較した。

なお、A34号水田には無追肥区を設けているので、流し込み施肥区の面積は20aとした。また、慣行区の圃場はA34号水田に隣接したA30号水田とした。A30号水田の形状は台形で、上底80m、下底100m、幅20m、面積18aであった。

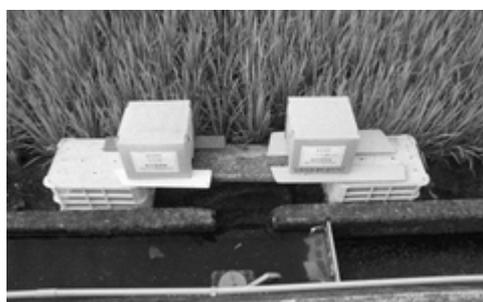


写真1 流し込み専用液肥を水口にセットし流し込み施肥を行っている様子(2016年)

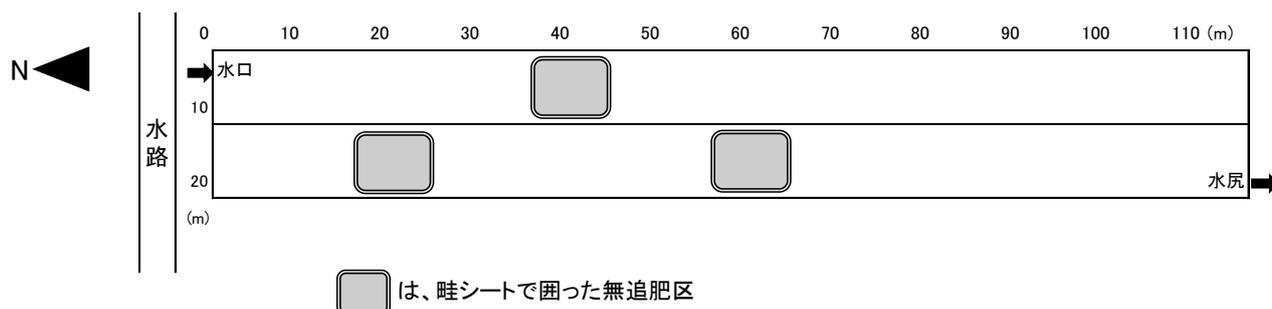


図2 A34号田見取り図(2016年)

作業性調査を行った被験者は両圃場とも同一の40歳代男性で、研究所内農作業歴は20年以上であった。また、被験者の労働強度を明らかにするため、文部科学省が旧スポーツテストで実施した踏み台昇降テストに準じ、作業直後、平常時およびステップテスト後の各30秒から60秒の間の心拍数を簡易血圧脈拍計で計測し、九州農業試験場(1999)の方法を参考にステップテスト心拍数比(以下、ST心拍数比)を求めた。なお、流込区での作業直後の心拍数は液肥を水口に運搬した作業直後と液肥容器のキャップに穴を開け液肥を滴下始めた直後の2回測定した。慣行区では動力散布機での散布が完了した直後に心拍数を測定した。

3. 結果

1) 流し込みに用いた肥料の圃場内均一拡散性

2015年に実施した流し込み施肥について、追肥直後と追肥2日後の田面水ECの濃度分布を図1に示した。水尻側の短辺の隅でECが高く、追肥直後で0.23~0.42mS/cm、平均

0.26mS/cm、変動係数0.21であり、追肥2日後で0.23~0.46mS/cm、平均0.27mS/cm、変動係数0.24であった。

2016年の供試圃場の水深は、流し込み施肥直後では東側、西側ともに水口側から90m以上の距離で6~7cmあり、平均は東側で5.0cm、西側で4.4cmであった。このことから、水口側と水尻側の圃場の高低差は2cm程度であり、長辺長が113mであることから、圃場の均平は高かった。施肥1日後では、東側で90m地点、西側で100m地点で深く、平均はそれぞれ2.7cm、3.0cmであり、3日後では東側で1.3cm、西側で1.4cmであった。これらから、日減水深は1.1cm/日であった(図3)。

2016年の田面水ECは、東側では水口側から80m以上の地点で高く、施肥直後には平均が0.31mS/cm、変動係数0.285であり、1日後にはそれぞれ0.32mS/cmと0.466で、3日後にはそれぞれ0.18mS/cmと0.254であった。西側では水口からの距離にかかわらずほぼ一定で、平均と変動係数はそれぞれ、施肥直後で0.23mS/cm、0.022、1日後で0.21mS/cm、0.116、3日後で0.16mS/cm、0.119であった(図4)。なお、灌漑水のECは0.21mS/cmであった。

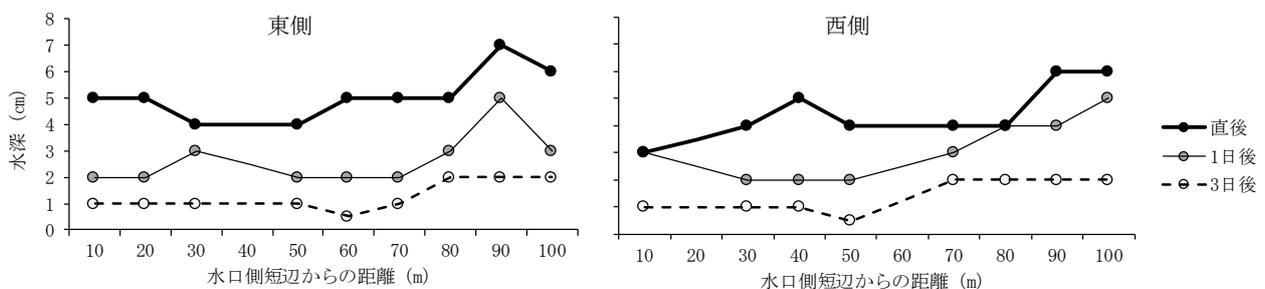


図3 水深の推移(2016年)

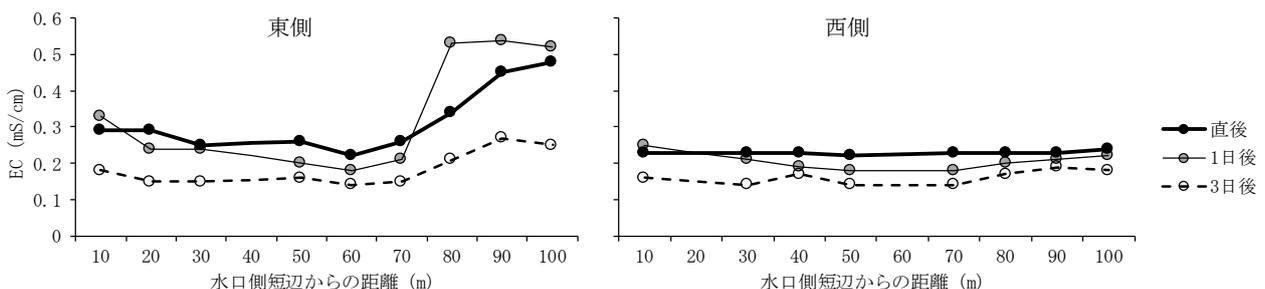


図4 田面水のECの推移(2016年)

2) 流し込み施肥が水稻の生育、収量へ及ぼす影響

2015年の流し込み施肥による追肥前の葉色 (SPAD 値) は N10+2 区で 36.9, N8+2 区で 33.5, N6+2 区で 32.1, N4+2 区で 30.7 であった。追肥後の葉色も, N10+2 区, N8+2 区, N6+2 区, N4+2 区の順に高く N8+2 区と N6+2 区の差は追肥前より大きくなった (図 5)。

稈長は N10+2 区, N8+2 区で 88~91 cm であり, これらの区では倒伏がみられた。一穂粒数, 登熟歩合や千粒数には試験区間に差が無かったが, 施肥窒素量が多いほど穂数が多く, 収量は N10+2 区と N8+2 区で N6+2 区や N4+2 区より有意に高かった。また, 玄米タンパク質含有率は N10+2 区で N6+2 区や N4+2 区より有意に高かった (表 1)。

2016年の追肥区と無追肥区の比較では, 水深は流し込み施肥直後に無追肥区で 0.5cm であったが, 1日後と3日後は追肥区と同等であった。田面水の EC は, 施肥直後, 1日後, 3日後とも両区に有意な差はなかった。水稻の葉色は, 追肥前が追肥区で 31.6, 無追肥区で 33.3 であり有意な差はなく, 3日後もそれぞれ

33.9, 31.7 で有意な差はなかったが, 無追肥区は流し込み施肥後に葉色が低下を続け, 7日後に追肥区で 33.5, 無追肥区で 30.2 と無追肥区が有意に低かった (表 2)。

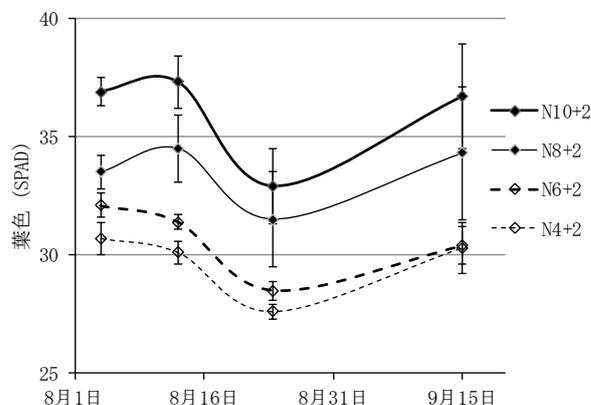


図 5 流し込み施肥による追肥施用前後の葉色の推移 (2015年)

8/4 は流し込み前, 8/13 は流し込み 9 日後, 8/24 は穂ばらみ期, 9/15 は乳熟期。測定葉位は 8/4 と 8/13 は完全展開第 2 葉, 8/24 と 9/15 は止葉。エラーバーは標準偏差。

表 1 生育、収量、玄米品質 (2015年)

区名	稈長 (cm)	穂数 (本/m ²)	一穂粒数 (粒)	登熟歩合 (%)	千粒重 (g)	精玄米重 (kg/10a)	整粒割合 (%)	玄米タンパク (%)	倒伏
N10+2	91 a	416 a	87	78	22.6	637 a	67	8.8	1.0
N8+2	88 a	377ab	83	83	22.5	598 a	67	8.3	0.5
N6+2	82 b	325bc	86	86	22.8	467 b	68	7.7	0.0
N4+2	80 b	304 c	86	84	22.8	484 b	69	7.7	0.0

精玄米重、千粒重は篩目 1.8mm 以上で, 水分 14.5% に補正。整粒割合は ES-1000 で測定。玄米タンパクは PS-500 で測定。倒伏は 0 (無) ~ 5 (甚)。各項目の同一英小文字は Tukey の多重検定 (5%水準) で有意な差がない。

表 2 追肥区と無追肥区の流し込み施肥後の水深, 田面水 EC および水稻の葉色 (2016年)

区	水深 (cm)			EC (mS/cm)			葉色 (SPAD)		
	直後	1日後	3日後	直後	1日後	3日後	追肥前	3日後	7日後
追肥区	4.4	2.1	0.9	0.24	0.21	0.15	31.6	33.9	33.5
無追肥区	0.5	2.0	0.7	0.21	0.20	0.15	33.3	31.7	30.2
t 検定	**	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.

追肥は穂肥時 (8月22日)。t 検定の行の**は 1%水準で有意差あり, n.s.は有意差なし。

2016 年の水稻収穫時の生育は、追肥区で稈長が有意に高かった。一穂もみ数および精玄米重は追肥区で高かったが、いずれも有意な差ではなかった。また、追肥に窒素成分で 4kg/10a 施用（合計窒素施用量は 10kg/10a）したものの、倒伏はなかった（表 3）。追肥前の生育は両区で同じであるが、成熟期のわら重、もみ重および窒素吸収量は追肥区で高いものの有意な差ではなく、追肥窒素の利用率は 43%であった（表 4）。

3) 流し込み施肥が追肥作業の省力化に及ぼ

す影響

作業時間は、流込区では肥料の設置と撤去にかかる時間だけだと 1.5 分/10a、動散区では 8 分/10a であった（表 5）。

また、流し込み施肥作業後の心拍数は、肥料の運搬直後は 106 拍/分であったが、滴下開始後には 75 拍/分であった。また、動力散布機使用では 98 拍/分であった。このため ST 心拍数比は、流込区で肥料の運搬直後に 1.00 であったが、肥料を設置し滴下開始後に 0.71 となった。慣行区では 0.92 であった（表 5）。

表 3 水稻の収穫時の生育、収量、収量構成要素（2016 年）

区名	稈長 (cm)	穂数 (本/m ²)	一穂 粒数 (粒)	登熟 歩合 (%)	千粒重 (g)	精玄 米重 (kg/10a)	整粒 割合 (%)	倒伏
追肥	70	340	85	83	21.9	499	71	0.0
無追肥	66	315	78	86	22.1	446	72	0.0
t 検定	*	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.	-

t 検定の行の*は 5%水準で有意差あり，n.s.は有意差なし。精玄米重、千粒重は篩目 1.8mm 以上で、水分 14.5%に補正。整粒割合は ES-1000 で測定。倒伏は 0（無）～5（甚）。

表 4 水稻の生育と施肥窒素利用率（2016 年）

区名	追肥前の生育		わら重 (kg/10a)	籾重 (kg/10a)	窒素吸収量(kg/10a)			追肥N 利用率 (%)
	草丈 (cm)	茎数 (本/m ²)			わら	穂	合計	
追肥	59	426	711	644	3.9	6.1	10.0	43
無追肥	59	426	682	571	3.0	5.2	8.3	-
t 検定	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.	-

t 検定の行の n.s.は有意差なし。

表 5 水稻追肥時の作業性の比較（2016 年）

区名	追肥方法	機材重量 (kg)	追肥現物量 (kg/10a)	N成分量 (kg/10a)	作業時間* (分/10a)	作業後心拍数 (拍/分)	ST心拍数比
流込	流し込み	0	20	4	1.5	75 (106)	0.71 (1.00)
慣行	動力散布機	13	29	4	8.0	98	0.92

慣行は所内一般管理水田。被験者は 45 歳男性，所内農作業歴 20 年以上。*は設置と撤去にかかる時間で、事前の走水等の管理作業にかかる時間は含めていない。心拍数は作業直後の 30 秒～60 秒の間に簡易血圧脈拍計で計測。（ ）は肥料運搬・設置直後。平常時心拍数 73。

4. 考察

1) 流し込みに用いた肥料の圃場内均一拡散性

流し込み施肥における肥料成分の圃場内での拡散性については、高橋ら(1998)は、施肥直後はECと田面水中のカリウム、リン、アンモニア窒素とは有意な正の相関関係があるが、施肥2日後ではこれらに相関がないとしている。また、尿素態窒素は電荷を持たないためECで評価はできないが、ECによる調査は方法が簡便なため、多くの報告で拡散性の評価においてはECが用いられている(高橋ら1998, 土田ら2005, 土田ら2009, 金子・橋田2017)。本研究でも、肥料成分の圃場内での拡散性についてECを測定し評価したところ、2か年とも、水口から見て圃場の奥の隅に濃度の高い部分があったものの、圃場の大部分は均一に肥料が拡散したと考えられた(図1, 図4)。金子・橋田(2017)は、一次元移流分散モデルにEC値をあてはめ、流し込んだ液肥が田面水中で分散し均一化されることを示し、より良く分散させるためには水尻を閉め、畦畔や田面の亀裂をふさぎ田面を閉鎖系にすることが必要であると結論付けた。本試験では、流し込み施肥の前に事前に走り水を行い田面の亀裂をふさぎ、水尻を閉め水深が5cm程度まで湛水したにもかかわらず、田面水の一部に濃度が高い部分が残された。流し込み施肥前に田面水があると、灌漑水が田面水を押し流し水尻までもっていくため、水尻の方へ肥料は分布しない(山崎ら1965)。このことから、本試験では液肥を灌漑水に滴下した初期には自重で滴下量が多くなりECの高い灌漑水が流入するが、容器内で液肥量が少なくなると滴下量が少なくなりECの低い灌漑水がECの高い田面水を押し流し、水口から見て水田の奥側で田面水のECが高まったと推察された。

圃場の減水深は1.1cm/日であり、田面水中のアンモニア態窒素等正の電荷を持つ肥料成分は田面水の降下浸透により土壌へ吸着される。施肥3日後の田面水ECは灌漑水ECより低かったことから、土壌表面でも肥料成分が置換吸着されていることが推察される。これ

らのことから、田面水ECが不均一だと、その後の葉色も不均一となることから、均一に流し込み施肥する方法について、今後、検討する必要がある。

2) 流し込み施肥が水稻の生育、収量へ及ぼす影響

2016年の試験で、全量基肥施肥で施肥窒素量6kg/10aのみでは幼穂形成期以降、葉色は低下を続けたが、流し込み施肥で窒素成分4kg/10aを追肥することで、施肥3日後には水稻の葉色は高まり、7日後も葉色は維持されたものの、追肥区と無追肥区で有意な差はなかった(表2)。稈長は、流し込み施肥によって5%水準で有意に高まった。穂数、一穂もみ数および精玄米重は追肥区と無追肥区で5%水準では有意な差はみられなかったが、いずれの項目も追肥区が高かった(表3)。これらのことから、被覆緩効性肥料を基肥に使用した時に、流し込み施肥による追肥は、生育や収量の向上に対し有効であったと考えられた。

しかし、今回の試験では明瞭な収量向上効果は得られなかった。理由の一つに、各反復間の誤差が大きく、統計的に有意な差が得られなかったことが考えられる。この対策としては、前述の均一拡散性の高い施肥法への改良が必要である。二つ目の理由として、追肥窒素利用率が低かったことが挙げられる。土田ら(2009)は出穂9日前に水深2.7cm、減水深1.2cm/日、施肥窒素量2~5kg/10aの条件で¹⁵N標識肥料を枠内に均一に滴下し、施肥窒素利用率は64.5~71.2%と報告しており、本試験の43%より高い。本試験では出穂22日前の施用であったため施肥窒素利用率が低かったと考えられるが、土田ら(2009)は、流し込み施肥では施肥窒素量が少ないと窒素の消失が大きく水稻に有効利用されにくいこと、ならびにアンモニア態窒素は土壌表面に吸着され硝化・脱窒作用を受けやすいことを指摘している。愛媛県の栽培条件において、施肥窒素利用率を高められる施用法の検討が必要である。

なお、2015年の試験では、基肥施肥窒素量を4~10kg/10aの4水準を設け、流し込み施肥で窒素成分2kg/10aを追肥したところ、精玄米重がN10+2区とN8+2区ではN6+2区やN4+2

区より有意に高かったものの、倒伏が見られた(表1)。この時の穂肥時の葉色はN8+2区で33.5、N6+2区で32.1であった(図5)。また、2016年の試験では、穂肥前の葉色が31.6の時に流し込み施肥で窒素成分4kg/10a施用し、倒伏もなかった(表2、表3)。これらのことから、被覆緩効性を用いた全量基肥施肥の‘ヒノヒカリ’では、幼穂形成期の葉色が33以上での追肥は倒伏の危険性があり、葉色が32以下では流し込み施肥によって窒素成分で2~4kg/10aの施用が可能であることが示唆された。

3) 流し込み施肥による穂肥施用の省力化

盛夏期の穂肥施用は重労働であることから、省力的施用法の開発が求められている。本試験では、流し込み施肥を穂肥施用に用い、心拍数を測定し労働強度を評価した。流し込み施肥に使う液肥を水口に運搬し設置する作業は瞬発力が必要で、一時的にステップテスト後の心拍数を上回りST心拍数比は1.00であったが、その後は体力は回復し、液肥を滴下始めた頃にはST心拍数比は0.71に低下し、動力散布機を使用した時のST心拍数比を下回った。また、作業時間は、液肥の設置と撤去にかかる時間が1.5分/10aとわずかで済んだ(表5)。以上のことから、流し込み施肥は、穂肥作業の省力化に有効であると考えられた。

本試験では、液肥の滴下方式で実施したが、より低コストで省力作業が求められる飼料用イネ栽培では、硫酸を水口で徐々に溶解させ流し込む方法も開発されている(関矢ら、2009)。本県の水田農業従事者は、将来、急激に減少し、一人当たり経営管理面積が急激に増加することが予想される。大規模水田営農では全量基肥施肥栽培は重要な栽培法の一つとなると思われるが、高品質安定多収生産のためには天候に応じて穂肥を施用することが変わらず必要であると思われるので、低コストで省力、均一拡散性の高い流し込み施肥法の確立を目指し、今後も検討していくことが

必要であると思われる。

引用文献

- 市川岳史, 有坂道展, 種田貞義, 植木一久 (1995): 水口流入による穂肥施用技術, 北陸作物学会報 **30**, 38-39.
- 金子文宣, 橋田安正 (2017): 流体力学的解析を考慮した水稻栽培の流し込み追肥, 日本土壤肥料学雑誌 **88**, 134-138.
- 九州農業試験場・水田利用部・機械化研究室 (1999): ステップテストを用いた作業負担の簡易評価方法, 九州農業試験場研究成果情報, <https://www.naro.affrc.go.jp/project/results/laboratory/karc/1999/konarc99-557.html>
- 関矢博幸, 土屋一成, 大谷隆二, 河本英憲 (2009): 飼料用イネ向けの簡易な硫酸の流入施肥技術, 東北農業研究 **62**, 35-36.
- 高橋能彦, 土田 徹, 久保田勝 (1998): 水稻流入施肥における田面水の電気伝導度と肥料養分の相互関係, 日本土壤肥料学雑誌 **69**, 638-640.
- 土田 徹, 高橋能彦, 大竹憲邦, 大山卓爾, 久保田勝 (2005): 水口流入施肥器を用いた大区画水田における水稻液肥流入の均一施肥効果と効率的施肥条件の検討, 日本土壤肥料学雑誌 **76**, 811-816.
- 土田 徹, 南雲芳文, 大竹憲邦, 大山卓爾, 高橋能彦 (2009): 水稻に対する流入施肥追肥の窒素形態や施肥量が肥料窒素利用率および田面水の養分動態等に与える影響, 日本土壤肥料学雑誌 **80**, 606-610.
- 山崎欣多, 久津那浩三, 瀬川篤忠, 上森 晃 (1965): 水田に対する液体肥料の流入施用に関する研究(第1報), 液体肥料の流入施用法について, 日本土壤肥料学雑誌 **36**, 379-381.
- 山崎欣多, 柳沢宗男, 関口富盛 (1967): 液肥流入時の³²Pの移行分布について, 水田に対する液体肥料の流入施用に関する研究(第3報), 日本土壤肥料学雑誌 **38**, 29-36.