

稲麦二毛作水田における無リン酸と無カリで 遅効性被覆尿素肥料のみを用いた水稻湛水直播栽培の生育と収量

原嘉隆

(農研機構九州沖縄農業研究センター)

要旨：暖地での水稻湛水直播栽培はスクミリンゴガイの食害を受けやすいが、大豆作との輪作等の工夫によって実施する生産者が増えている。しかし、湛水直播用肥料は少なく、移植用肥料を利用せざるを得ない状況にある。直播では苗立ち後の分けつが旺盛で、特に暖地で過繁茂による倒伏が起きやすく、その回避のために播種量を減らすと十分な苗立ち本数が得られないという問題が起きかねない。このため、播種量を減らさずに過繁茂を抑えられるよう初期の窒素肥料を控えることが望ましいと考えた。湛水直播の実施面積が少ない暖地での湛水直播用肥料の流通は現実的でない。そこで、稲麦二毛作水田において、リン酸とカリを無しとし、速効性窒素も無しとし、移植用肥料で施肥される窒素量の8割を生育後半に溶出する遅効性被覆尿素で施肥する方法を検討した。生産者の水田を含む3地区において通算3年で移植用肥料を用いた場合と比較した施肥試験を実施した。その結果、いずれの地区でも生育と収量に有意差は認められなかった。したがって、稲麦二毛作水田での湛水直播栽培では、遅効性被覆尿素のみの施肥法が利用できる。本施肥法は、肥料代も安く、散布量も少ないので省力化も実現できる。

キーワード：稲麦二毛作水田、水稻湛水直播、遅効性被覆尿素肥料、無カリ、無基肥窒素、無リン酸。

水稻直播栽培は、担い手不足等により面積が年々増加しているものの、未だ全国平均で全水稻栽培面積の3%程しかない。暖地ではスクミリンゴガイの食害を受けやすいことから他地域に比べると直播栽培の普及が進んでいないが、近年は大豆作との輪作等の工夫によってスクミリンゴガイの食害を避け、直播を実施する生産者が増えつつある。マット苗からの掻き取りで根が切れた苗を植える移植と異なり、根が切れない直播では苗立ち後の分けつが多く、特に暖地では過繁茂による倒伏が起きやすい(姫田 1995)。現在、水稻栽培では、追肥の手間を省ける全量基肥の肥料の利用が一般的である。全国的にみると直播の面積が多い地域では直播用肥料も流通しているが、直播の普及が進んでいない暖地では直播用肥料が流通していない。また、直播に適した肥料を生産者自前で調合するのも手間がかかり現実的でないため、移植用肥料が利用されている。その場合、過繁茂を気にして播種量を減らし、その結果として苗立ち不良によって十分な苗立ちを得られない事例が多く見受けられる。したがって、播種量を減らさずに過繁茂を抑えられるよう初期の窒素供給を控えることが望ましいと考えられる。

水稻栽培では一般に窒素の他にリン酸とカリを施肥する。2008年頃の肥料価格の高騰に際してリン酸とカリの減肥が検討されたところ、多くの水田で無施肥でも減収しなかった(新良・伊藤 2016, 農研機構中央農業研究センター 2014)。筑紫平野の稲麦二毛作水田で、麦は特にリン減肥で収量が低下したが、移植水稻はリン酸とカリの無施肥でも影響なかった(大塚ら 2012a, b, 大塚 2018a)。さらに、水稻移植栽培でリン酸とカリを無施肥とし、速

効性窒素も無施肥として遅効性(シグモイド型)被覆尿素のみを側条施肥した試験で、分施に対して窒素施肥量を6割に減じても減収しなかった(大塚ら 2017, 大塚 2018b)。このことから、過繁茂になりやすい稲麦二毛作水田での水稻湛水直播栽培では、リン酸とカリだけでなく速効性窒素も無施肥とし、遅効性被覆尿素のみにできると考えられた。単一の被覆尿素は水稻以外の作物でも用いられるので入手も容易である。

そこで、水稻湛水直播栽培において、移植用肥料を施肥した場合と比較して、遅効性被覆尿素のみを施肥した場合の水稻の生育と収量を調べた。

材料と方法

1. 水田と土壌分析

筑紫平野3地区の稲麦二毛作水田における水稻湛水直播栽培で、慣行となる移植用肥料を用いる慣行区と、遅効性被覆尿素のみを用いる遅効区を設けた(第1表)。場所は九州沖縄農業研究センター水田作研究領域(福岡県筑後市)近隣の水田(地区A)と2地区の生産者水田(地区B, C)であった。地区Aでは2016–2017年の年毎に2筆(3.5, 5.5 a, 前年は水稻作)を各4分割し、慣行区と遅効区を2区画ずつ設けた。品種は中生の「にこまる」であった。地区Bでは2016–2018年の年毎に1筆(37, または44 aで2016年と2018年に試験した水田は同じ、前年は大豆作)を4分割し、慣行区と遅効区を2区画ずつ設けた。品種は2016–2017年が極早生の「夢つくし」、2018年が早生の「元気つくし」であった。地区Cでは2018年に隣接2筆(25, 29 a, 前年は大豆作)の片方を慣

第1表 試験概要.

地区	年	前々作 - 前作	水稲品種	施肥区	窒素 (N) (g m ⁻²)	うち遅効性 (被覆尿素分)	リン酸 (P ₂ O ₅) (g m ⁻²)	カリ (K ₂ O) (g m ⁻²)	遅効性被覆尿素 の銘柄 ^a
A	2016, 2017	水稲 - 大麦	にこまる	慣行	7.0	3.5	3.5	3.5	S100
				遅効	5.6	5.6	0.0	0.0	
B	2016, 2017	大豆 - 大麦	夢つくし	慣行	7.0	3.5	3.5	3.5	S90
				遅効	5.6	5.6	0.0	0.0	
	2018	大豆 - 大麦	元気つくし	慣行	7.0	3.5	3.5	3.5	S100:S120=7:3
				遅効	5.6	5.6	0.0	0.0	S100
C	2018	大豆 - 大麦	ふくいずみ	慣行	8.8	5.3	2.8	4.0	S110:S120=7:5
				遅効	7.0	7.0	0.0	0.0	S100

a: 遅効性被覆尿素の銘柄名を「S (シグモイド型) + 25℃での80%溶出日数」で示す. 全銘柄がジェイカムアグリ (株) 製で, S90 はエムコート S90H で, S100, S110, S120 は LP コート SS100, S110, S120 である. 2 種類の場合は量比も示す.

第2表 栽培概要.

地区	年	直播	分けつ期調査	出穂	登熟期調査	部分刈り収穫	全刈り収穫	播種量 ^a (g m ⁻²)	苗立ち数 (m ⁻²)	倒伏程度 ^b
A	2016	6月9日	8月9日	8月29日	9月6日	10月11日	-	2.7	84	0
	2017	6月8日	8月4日	8月28日	9月11日	10月11日	-	2.9	98	0
B	2016	6月7日	8月10日	8月16日	8月31日	9月16日	9月24日	2.2	62	0
	2017	6月6日	7月31日	8月13日	8月29日	9月19日	9月23日	2.7	49	2-3
	2018	6月7日	8月1日	8月22日	9月3日	9月26日	9月28日	1.9	26	0
C	2018	6月4日	-	8月26日	10月10日	10月10日	10月10, 15日	2.0	-	0

a: 乾粒換算. b: 達観による無 (0) - 甚 (5). 「-」は欠損値.

行区, もう片方を遅効区とした (各1区画). 品種は中生に近い「ふくいずみ」であった. なお, 全試験で前作の大麦藁は鋤きこまれなかった.

水田の土は, 地区 A が「細粒質普通灰色低地土」, 地区 B が「細粒質普通低地水田土」, 地区 C が「中粒質普通低地水田土」であった (農研機構農業環境変動研究センター 2017). 土は施肥前に採取し, 風乾して, 仮比重, pH, 全窒素量, 可給態窒素量 (30℃・4 週間の湛水培養でのアンモニウム態窒素増加量), 硝酸態窒素量, アンモニウム態窒素量, 有効態リン酸量 (トルオーグ法), リン酸吸収係数, 交換性のカリ・苦土・石灰の量, 陽イオン置換容量を分析した.

2. 施肥と栽培

各地の直播で実施されている市販の移植用全量基肥肥料を用いた施肥法 (生産者水田ではない地区 A は熟期的に普通と考えられる方法) を慣行区の施肥法とした (第1表). 遅効区の施肥法は, リン酸とカリを無施肥とし, 窒素肥料は慣行区の肥料に含まれる遅効性被覆尿素 (シグモイド型) のみとし, 複数の銘柄が混和されている場合は混和割合が高い銘柄とした. ただし, 地区 C では, 用いられている移植用肥料に含まれる銘柄の溶出が供試品種にとって遅いと判断し, 若干速く溶出する銘柄を選んだ. すなわち, 地区 B の 2016-2017 年はジェイカムアグ

リ (株) 製のエムコート S90H (以下, シグモイド型で 25℃での80%溶出日数が90日ということで「S90」と記載), それ以外は同社製の LP コート SS100 (以下, 同様に「S100」と記載) とした. 遅効区の窒素施肥量は慣行区的全窒素施肥量の8割とした. これは, 被覆尿素の窒素利用率が高く, 側条施肥で施肥量を6割に下げられた知見があるものの (大塚ら 2017, 大塚 2018b), 全層施肥の生産者水田で早急な実用化を図るため, 減収させないことを優先したからである. 麦刈後に耕起し, 直播の約1週間前に施肥し, 土に混和した.

種子は消毒後に催芽し, べんモリ被覆 (原・秀島 2017) をした. 乾粒重に対するべんモリ資材の被覆量は, 地区 B の 2017 年の一部と 2018 年が 0.3 倍重, 他が 0.1 倍重であった. 地区 B では播種条によって被覆資材の組成を変えたが, 苗立ち率に差は無かったので, 本論文では区別しなかった. 6月上旬に直播した (第2表). 地区 A, B では代かき2日後に落水して土が柔らかい状態で多目的田植機を用いて 15 mm 程の深さで溝を付けて点播した (株間は 24 cm). 種子が浅く土に埋没するように, 播種後に水を張った. 地区 C では耕起後に土に水を含ませた状態で代かき同時打ち込み点播した (原・秀島 2017). いずれの地区も直播用除草剤を散布した後は一般的な移植と同様に栽培した.

第3表 試験水田の土壌分析値.

地区	水田	年	採取区 ・時 ^a	仮比重 (g cm ⁻³)	pH (H ₂ O)	全窒素 (g kg ⁻¹)	可給態 窒素 (mg kg ⁻¹)	有効態 リン酸 (mg kg ⁻¹)	リン酸 吸収 係数	交換性 カリ (mg kg ⁻¹)	交換性 苦土 (mg kg ⁻¹)	交換性 石灰 (g kg ⁻¹)	陽イオン 交換容量 (cmol _c kg ⁻¹)
A	A1	2016	前	0.86	6.0	2.37	142	270	856	370	507	3.23	21.4
		2017	前	0.82	5.7	2.47	127	267	972	224	476	3.60	21.1
	A2	2016	前	0.82	5.8	2.61	145	214	971	527	349	2.89	21.0
		2017	前	0.78	5.6	2.60	136	212	1062	238	385	3.36	22.3
B	B1	2016	前	0.86	6.4	2.21	115	250	810	385	383	5.75	23.2
			前	0.87	6.7	2.01	106	232	960	253	331	6.14	33.3
		2018	慣行区後	0.94	6.3	1.99	—	172	1019	223	371	6.24	24.4
			遅効区後	0.90	6.5	2.02	—	177	1088	205	443	7.32	28.0
	B2	2017	前	0.83	5.9	2.42	123	221	883	284	336	5.75	23.1
	C	C1	2018	前	0.78	5.8	2.14	149	188	793	306	544	4.59
			慣行区後	0.86	5.7	2.08	—	135	930	265	522	4.11	23.2
C2		2018	前	0.80	5.8	2.31	153	199	839	379	644	4.87	30.2
			遅効区後	0.77	6.0	2.07	—	142	956	256	615	4.54	25.2

a: 「前」は栽培前に水田全体から, 「～区後」は栽培後に各区から土壌を採取. 「—」は欠損値.

3. 生育と収量の調査

2016年は、直播後10日程に目視で葉が展開した水稻個体を数えて、苗立ち数を求めた. 2017–2018年は、調査しなかった地区Cを除き、直播後2週間程にドローンで約2mの高さから空撮した写真の水稻個体数から苗立ち数を求めた.

分けつ期(8月上旬頃)と登熟期(9月上旬頃)に、地区Aでは各区画1か所(1.7m²)、地区Bでは各区画2か所(計3.5m²)で、各所24株の草丈(または稈長、穂長)、葉色を調べた(第2表). 葉色は、葉緑素計(Konica Minolta製 SPAD-502Plus)の値を求めた. 茎数(または穂数)は、各所の隣接3株ずつを見て中庸と思われた株を数えた(各所8株). 地上部重は、各所の周辺で平均的な4株(基部付き)を採取し、80℃で乾燥して求めた. 地区Cでは収穫直前に各区画3か所の計1.3m²で、各所6株の稈長と穂長を調べた.

地区A、Cは10月上旬、地区Bは9月中旬に、収量調査のための部分刈りを行った(第2表). 地区A、Cと2016年の地区Bでは各区画3か所の計3.5m²、2017–2018年の地区Bでは各区画4か所の計4.6m²で地上部を刈った. これから、地上部重(基部無し、80℃乾燥)、精玄米重(1.8mm篩、水分15%)、屑米割合(=屑米重/粗玄米重)、収穫係数(=精玄米重(水分0%)/地上部重)、精玄米千粒重を求めた. また、乾熱燃焼法(住化分析センターNC-900)で得た精玄米窒素含有率に5.95を掛けて精玄米タンパク質含有率(水分15%)とした.

別途、地区B、Cでは区画毎に全刈りを行い、調製施設で得られたデータから全刈り収量(精玄米重、屑米割合)を求めた. 地区Bの精玄米重は1.85mm篩で水分14%の値、地区Cは1.8mm篩で水分15%の値であった.

4. 被覆尿素からの窒素溶出

地区A、Bの試験では、遅効区の被覆尿素をポリエチレンメッシュ袋に2.5gずつ入れ、直播日に約5cmの深さに埋設した. 定期的に回収し(2–3袋ずつ5–6回)、袋に残った窒素量を分析し、被覆尿素からの窒素溶出率の推移を求めた. 栽培中は地温(深さ5cm)を1時間間隔で計測し、Hara(2000b)に基づいて活性化エネルギーを64kJmol⁻¹として25℃換算日数を算出し、その日数に対する窒素溶出率の推移をHara(2000a)の式に当てはめた.

結 果

1. 土壌特性

施肥前に採取した土の仮比重は0.78–0.87gcm⁻³、pHは5.7–6.7で地区Bの水田B1がやや高かった(第3表). 全窒素量は2.0–2.6gkg⁻¹、可給態窒素量は106–153mgkg⁻¹で、水田B1がやや低かった. 硝酸態窒素量は21mgkg⁻¹以下、アンモニウム態窒素は18mgkg⁻¹以下で、水稻生育への影響が無視できる程度であった(データ省略). 有効態リン酸は188–270mgkg⁻¹で、水田A1が高く、地区Cが低かった. 交換性カリは224–527mgkg⁻¹で、2016年の水田A2が高かった. 交換性苦土は331–644mgkg⁻¹、交換性石灰は2.89–6.14mgkg⁻¹、陽イオン交換容量は21.0–33.3cmol_ckg⁻¹であった.

2. 苗立ち、出穂期と収穫時期

地区Aの播種量は2.7–2.9gm⁻²で、苗立ち数は84–98m⁻²と十分確保できた(第2表). 地区Bでの播種量は2016–2017年が2.2–2.7gm⁻²で、苗立ち数は49–62m⁻²と十分確保できたのに対し、2018年の播種量は1.9gm⁻²で、水位を上げて除草剤を効かせたところ苗立ちが悪く、

第4表 地区Aの分けつ期生育.

年	水田	施肥区	草丈 (cm)	茎数 (m ⁻²)	葉色	地上部重 (g m ⁻²)
2016	A1	慣行	83.6	523	32.9	683
		遅効	83.5	522	34.8	595
	A2	慣行	81.7	464	32.7	611
		遅効	82.5	515	34.2	644
2017	A1	慣行	73.2	490	35.8	542
		遅効	75.8	517	35.7	517
	A2	慣行	81.5	500	36.8	584
		遅効	85.1	451	38.8	580
有意性 ^a	年		*		**	
	水田		*			
	施肥区					
	年×水田		**			

a: 3 因子 (年, 水田, 施肥区) の分散分析で, ** は 1%, * は 5% の水準で有意差あり. 他の要因の組み合わせで有意差なし.

第5表 地区Aの登熟期生育.

年	水田	施肥区	稈長 (cm)	穂長 (cm)	穂数 (m ⁻²)	葉色	地上部重 (g m ⁻²)
2016	A1	慣行	82.7	19.2	428	36.6	1244
		遅効	82.9	18.3	477	36.5	1044
	A2	慣行	81.9	18.7	395	36.2	1105
		遅効	83.3	18.3	422	36.4	1115
2017	A1	慣行	81.1	18.8	382	37.5	1403
		遅効	80.5	18.8	413	37.3	1530
	A2	慣行	85.8	19.7	385	37.2	1384
		遅効	86.1	19.4	441	37.6	1732
有意性 ^a	年						**
	水田		*				
	施肥区				*		
	年×水田		*				

a: 3 因子 (年, 水田, 施肥区) の分散分析で, ** は 1%, * は 5% の水準で有意差あり. 他の要因の組み合わせで有意差なし.

第6表 地区Aの部分刈り収量.

年	水田	施肥区	地上部重 (g m ⁻²)	精玄米重 (g m ⁻²)	屑米割合 (%)	収穫係数 (%)	精玄米 千粒重 (g)	精玄米 タンパク質 (g kg ⁻¹)
2016	A1	慣行	1462	563	6.0	33	20.8	66
		遅効	1437	588	6.2	35	20.8	65
	A2	慣行	1466	548	4.9	32	21.1	64
		遅効	1560	606	5.7	33	21.1	67
2017	A1	慣行	1364	598	4.0	37	23.2	67
		遅効	1420	607	4.5	36	23.2	67
	A2	慣行	1480	653	5.2	38	23.5	71
		遅効	1457	633	4.3	37	23.6	70
		年				*	**	
有意性 ^a	水田							
	施肥区							

a: 3 因子 (年, 水田, 施肥区) の分散分析で, ** は 1%, * は 5% の水準で有意差あり. 要因の組み合わせで有意差なし.

苗立ち数は 26 m⁻² と少なかった. 地区 C は達観で十分な苗立ちが確保できたことを確認した. なお, 地区 A は前年が水田作の水田であるが, 面積も小さく水管理をしつかりできたので, スクミリングガイの被害は問題とまらない程度であった. また, 地区 B, C は生産者が栽培する水田で, スクミリングガイの被害に遇わないように前年が大豆作の水田を選んで直播をされたため, その被害はほぼ無かった.

出穂は, 地区 B の「夢つくし」と「元気つくし」が 8 月中旬, 地区 A の「にこまる」と地区 C の「ふくいずみ」が 8 月下旬であった(第 2 表). 収穫は地区 B の「夢つくし」が 9 月中旬, 「元気つくし」が 9 月下旬, 地区 A の「にこまる」と地区 C の「ふくいずみ」が 10 月上旬であった.

倒伏は 2017 年の地区 B でみられ, 施肥区との関連は無かった (トビイロウンカの発生との関連が疑われた).

3. 生育と収量

地区 A における 2 年間の生育と収量等について, 年, 水田, 施肥区を因子とする分散分析をした. 分けつ期の生育 (草丈, 茎数, 葉色, 地上部重) では, 年や水田で有意差が認められた項目があったが, 施肥区で有意差が認められた項目は無かった (第 4 表). 登熟期の生育では, 穂数が慣行区より遅効区で多かったが, 他の項目 (稈長, 穂長, 葉色, 地上部重) は施肥区で有意差が認められなかった (第 5 表). 収穫時の項目 (地上部重, 精玄米重, 屑米割合, 収穫係数, 精玄米千粒重, 精玄米タンパク質) も,

第7表 地区Bの分げつ期生育.

年	施肥区	草丈 (cm)	茎数 (m ⁻²)	葉色	地上部重 (g m ⁻²)
2016	慣行	94.3	406	35.4	948
	遅効	90.0	349	35.2	855
2017	慣行	87.9	477	35.8	731
	遅効	85.3	472	37.9	692
2018	慣行	69.7	389	41.2	—
	遅効	69.8	410	42.2	—
年		**	*	**	**
有意性 ^a 施肥区					*
年×施肥区					

a: 2 因子 (年, 施肥区) の分散分析で, ** は 1%, * は 5% の水準で有意差あり. 「—」は欠損値.

第8表 地区Bの登熟期生育.

年	施肥区	稈長 (cm)	穂長 (cm)	穂数 (m ⁻²)	葉色	地上部重 (g m ⁻²)
2016	慣行	86.6	19.0	415	35.6	1339
	遅効	83.2	18.9	357	36.0	1260
2017	慣行	93.2	17.0	421	37.2	1465
	遅効	91.0	17.8	418	39.5	1340
2018	慣行	88.8	20.5	365	34.7	—
	遅効	88.1	20.8	424	35.6	—
年		*	**		*	
有意性 ^a 施肥区						
年×施肥区						

a: 2 因子 (年, 施肥区) の分散分析で, ** は 1%, * は 5% の水準で有意差あり. 「—」は欠損値.

第9表 地区Bの部分刈り収量.

年	施肥区	地上部重 (g m ⁻²)	精玄米重 (g m ⁻²)	屑米割合 (%)	収穫係数 (%)	精玄米 千粒重 (g)	精玄米 タンパク質 (g kg ⁻¹)
2016	慣行	1385	548	10.9	34	21.6	72
	遅効	1266	543	06.3	36	22.3	70
2017	慣行	1497	574	07.8	33	22.3	68
	遅効	1468	577	07.8	33	22.4	72
2018	慣行	1463	457	19.6	27	19.9	69
	遅効	1475	387	27.5	22	19.8	70
年			**	**	**	**	
有意性 ^a 施肥区							
年×施肥区							

a: 2 因子 (年, 施肥区) の分散分析で, ** は 1%, * は 5% の水準で有意差あり.

年で有意差が認められたものの, 施肥区で有意差は認められなかった (第6表). なお, 精玄米タンパク質は食味上の基準である 75 g kg⁻¹ 以下であった.

地区Bにおいて, 分げつ期の生育で地上部重のみで施肥区による有意差が認められ, 遅効区は慣行区より低かった (第7表). 登熟期の生育で施肥区による有意差が認められた項目は無かった (第8表). 部分刈り収量や全刈り収量でも, 施肥区による有意差が認められた項目は無かった (第9表, 第10表). なお, 2018 年は, 苗立ち数が少なく (第2表), 北東方向にあった遅効区の1区画で特に悪い傾向があり (区画別のデータは無し), その遅効区の1区画で欠株が目立ち, 遅効区の精玄米重が低く, 屑米割合が高くなった (第9表, 第10表). また, 周辺の移植水田に比べて登熟の遅れがあり, 乾燥調製施設の受け入れ期間の都合上, 十分登熟してない状況で収穫せざるを得ず, 全体的にも屑米割合が高く, 精玄米重, 収穫係数, 精玄米千粒重が低くなった (第9表, 第10表). なお, 2016–2017 年の結果のみでも, 施肥区で有意差が認められた項目は無かった.

第10表 地区Bの全刈り収量.

年	施肥区	精玄米重 (g m ⁻²)	屑米割合 (%)
2016	慣行	494	10.3
	遅効	510	07.6
2017	慣行	515	12.6
	遅効	551	09.6
2018	慣行	437	18.8
	遅効	396	30.2
年		*	*
有意性 ^a 施肥区			
年×施肥区			

a: 2 因子 (年, 施肥区) の分散分析で, ** は 1%, * は 5% の水準で有意差あり.

地区Cの登熟期生育と部分刈り収量において, 施肥区 (各疑似3反復) による有意差は認められなかった (第11表, 第12表). 全刈り収量の差もほぼ無かった (第13表).

第 11 表 地区 C の登熟期生育.

施肥区	稈長 (cm)	穂長 (cm)	穂数 (m^{-2})
慣行	81.1	18.8	537
遅効	80.3	19.1	588

疑似反復 3 か所ずつで有意差なし.

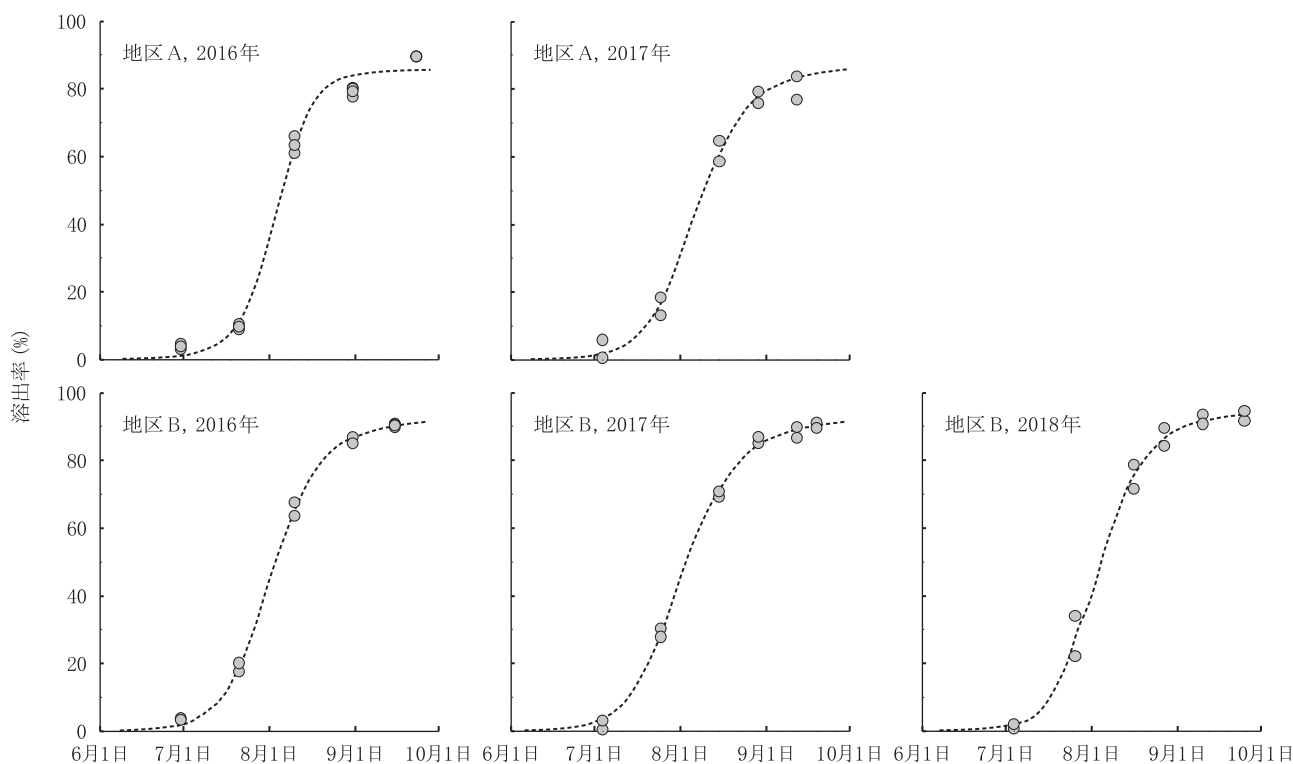
第 13 表 地区 C の全刈り収量.

施肥区	精玄米重 (g m^{-2})	屑米割合 (%)
慣行	463	10.9
遅効	471	10.5

第 12 表 地区 C の部分刈り収量.

施肥区	地上部重 (g m^{-2})	精玄米重 (g m^{-2})	屑米 割合 (%)	収穫 係数 (%)	精玄米 千粒重 (g)	精玄米 タンパク質 (g kg^{-1})
慣行	1691	557	12.6	33	21.0	74
遅効	1663	521	13.7	31	20.8	74

疑似反復 3 か所ずつで有意差なし.



第 1 図 被覆尿素からの窒素溶出.

●印は調査値. 点線は当てはめ値.

4. 被覆尿素からの窒素溶出

被覆尿素からの窒素溶出は、いずれも 7 月上旬から始まり、8 月上旬に多くなり、9 月上旬に終了する傾向が得られた (第 1 図). なお、2016–2017 年の 7 月下旬の溶出率は、溶出日数が 100 日の S100 を用いた地区 A よりも溶出日数が 90 日の S90 を用いた地区 B が高く、用いた被覆尿素の銘柄の違いが表れていた.

考 察

1. 2018 年の地区 B の苗立ち不良

2018 年の地区 B では苗立ち数が他と比べて著しく低かった (第 2 表). これは、出芽後の除草剤を散布する際に、除草剤を効かせることを優先して深めに湛水したことに起因したと考えている. 特に、遅効区の 2 区画のうちの 1 区画の苗立ちが著しく悪く、欠株が多くなった (データは無し). これは、強風による水や除草剤の偏りに起因し

たと考えている。すなわち、圃場を十字に4分割して風下となったのがその区画で、風下では水深が深くなったため、また除草剤として浮いて流されやすい豆つぶ剤が施用されて風下でその成分濃度が高くなったため、水稻が弱って苗立ちが悪くなったと推察している。第9-10表で平均値として示した遅効区と慣行区の結果において精玄米重と屑米率に大きな差があったが、これはその1区画の影響を受けたものである。したがって、2018年の地区Bでは、施肥区による差異は大きかったものの、有意差は認められなかった。

なお、その2018年の地区Bでは茎数や穂数は遅効区が慣行区よりも多くなった(第7表、第8表)。これは欠株になっていなかった場所での値である。このため、周辺に欠株の多い遅効区は欠株の少ない慣行区よりも光や養分の競合が小さく、茎数や穂数が多くなった可能性が考えられた。

さらに、2018年の地区Bでは、前年までと比べて、両施肥区とも屑米率が高く、玄米千粒重が低くなった(第9表、第10表)。これは、周辺の水田に比べて葉色の退色が遅く、登熟が十分でない状態で収穫したためと考えている。その理由は苗立ち数が少なかったことによって、少ない個体で水田を覆うために分けつが遅くまで続き、登熟が遅れたと推察された。本研究は、苗立ち本数の不足を招きかねない播種量の削減ではなく、施肥法の変更によって過繁茂を回避することを目的としている。2018年の地区Bは、播種量を少なくした際に苗立ち不良が起きて苗立ち数が不足したという懸念することが起きた事例と考えている。

2. 生育収量における施肥区の影響

遅効区は初期に効く窒素が施肥されないため、初期の生育不良が懸念された。地区Bで分けつ期の地上部重は慣行区より遅効区が有意に低かったが(第7表)、登熟期は有意差が認められなかった(第8表)。地区Aでは分けつ期の地上部重も有意差が認められなかった(第4表)。地区Aは中生品種で、地区Bの2016-2017年は極早生品種であった。極早生品種は生育が早いので、遅効区は分けつ期に窒素が不足した可能性もある。しかし、他地区の生育や全地区の収量で施肥による有意差が認められなかった(第4-13表)。このことは、湛水直播栽培でリン酸とカリを無施肥とし、窒素は移植用肥料による全施肥量の8割相当を移植用肥料に含まれるものに近い遅効性被覆尿素で施肥すれば、移植用肥料を用いた場合と同等の収量が得られることを示唆する。そして、側条施肥の移植栽培で被覆尿素のみを用い、窒素施肥量を6割に下げても収量が低下しなかった報告(大塚ら2017, 大塚2018b)とも合致する。本試験では、生産者水田でも実施したため無難な8割としたが、減収傾向は無かったのでさらに減らせる可能性がある。なお、移植栽培に比べて

湛水直播栽培では、種子の流亡を防ぎ、苗立ちを促進するために、田面水を落とす場合が多い。この際の肥料成分の流亡を避けるためにも遅効性被覆尿素のみとすることは望ましい。

被覆尿素的窒素溶出は、7月上旬から始まり、中旬以降に高まった(第1図)。一方、株間が葉で詰まるのは7月中旬以降であった。直播では、播種後1か月程、種子からの養分供給を受けられる。その後しばらくは、根を条間に延ばせるため、土壌や遅効性被覆尿素からのわずかな窒素供給で足りると考えられた。本論文での直播が6月上旬であるが、窒素無施用で5月下旬に水稻を移植した場合に6月中は条間の作土中のアンモニウム態窒素が残っていたという報告(原ら2009)からもこのことは支持される。その後、条間に根が張りつくして土壌からの窒素供給で不足する7月には、遅効性被覆尿素的窒素供給が高まる。このために、遅効性被覆尿素のみでも生育が確保できたと考えられた。

なお、直播での過繁茂を懸念して本試験を実施したが、地区Bの地上部重を除き、分けつ期の生育で慣行区が過繁茂となることを示す結果は無かった。この理由として、既に対策として株間を移植よりも広げていること(移植で一般的な18 cmに対し、地区A、Bでは24 cm、種子が面的に広がる地区Cでは中心間が約30 cm)、または移植と比べて基部が浅い直播では葉の開度が広くて株間が詰まってみえるが、調査項目ではその差を把握できなかったことも考えられた。

3. 土壌肥沃度の影響

遅効区で収量低下がなかったことは土壌肥沃度も関係すると考えられる。

リン酸について、水田土壌の改善目標値は有効態リン酸(トルオーグ法)で 100 mg kg^{-1} 以上で(農林水産省2008)、 150 mg kg^{-1} 以上ではリン酸施肥量の半減が推奨される(新良・伊藤2016, 農研機構中央農業研究センター2014)。福岡県では改善目標値を $100-500 \text{ mg kg}^{-1}$ とする(福岡県農林水産部経営技術支援課2018)。佐賀県では 100 mg kg^{-1} 以下で基準量施肥、 300 mg kg^{-1} 以上で施肥不要とする(佐賀県2020)。水田作では湛水による土壌還元で鉄と結合したリン酸が可溶化するため(南條ら1996)、改善目標値は畑作に比べて低い。試験水田(栽培前土壌)の有効態リン酸は $188-270 \text{ mg kg}^{-1}$ で(第3表)、目標下限の 100 mg kg^{-1} に比べて多く、リン無施肥でもリン酸は足りたと考えられた。

2018年において栽培後の有効態リン酸は栽培前に比べて25-30%減少したが、施肥区の間はほぼなかった(第3表)。また、水田A1、A2の2016、2017年の値、水田B1の2016、2018年(栽培前)の有効態リン酸を比較すると概ね差が無い。稲麦二毛作水田で水稻9作のリン酸とカリを無施肥とした試験で、有効態リン酸の減少傾向は無

かった(大塚 2018a)。有効態リン酸(トルオーグ法)は、主にカルシウムと結合する利用されやすいリン酸である。水稲作では鉄と結合するリン酸が可溶化され、二毛作水田では麦作でリン酸が施肥されることから、有効態リン酸は減少しにくいと考えられた。

カリについて、改善目標値は地域や土壌で異なり、福岡県では水田(粘質、壤質)についてカリ飽和度で1-2% (陽イオン交換容量が $20 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ のとき、交換性カリで $94-188 \text{ mg kg}^{-1}$)としている(福岡県農林水産部経営技術支援課 2018)。佐賀県では交換性カリが 150 mg kg^{-1} 以下を基準量施肥、 300 mg kg^{-1} 以下を半量施肥、それ以上を施肥不要としている(佐賀県 2020)。また、カリ飽和度が4% (陽イオン交換容量が $20 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ のとき、交換性カリで 377 mg kg^{-1} に相当)を超える水田ではカリを施肥しないことも提案されている(赤井ら 2012)。試験水田(栽培前土壌)の交換性カリは、 $224-385 \text{ mg kg}^{-1}$ であった(第3表)。これらから、本試験においてカリ無施肥で収量が減少しなかったのも、土壌のカリ肥沃度が十分高かったためと考えられた。

交換性カリは栽培後(2018年)に減少がみられ、同じ水田(水田A1, A2, B1)で年次が進むと基準は超えているが著しく減少した(第3表)。稲麦二毛作水田で水稲9作のリン酸とカリを無施肥とした試験で、交換性カリは2年間で $180-250 \text{ mg kg}^{-1}$ まで急激に減少したが、その後の減少は穏やかで、さらに稲麦藁の還元で減少が抑えられたと報告されている(大塚 2018a)。このことは、カリを無施肥とすると交換性カリは急速に減少するが、麦栽培の残効や土壌および灌漑水からの供給等によって、その後は低水準で落ち着くことを示唆する。なお、本試験では、いずれも前作の麦藁を還元しなかったことも(前年の稲藁は地区A, Cで還元)、交換性カリの急激な減少を助長したと考えられた。

試験した生産者水田の交換性カリは 284 mg kg^{-1} 以上で、佐賀県の基準(佐賀県 2020)で「施肥不要」となる 300 mg kg^{-1} 以上に近かった。また、カリ飽和度が4%を超える水田でカリ無施肥を提案した岡山県では、カリ飽和度が5%を超える水田が67%もあった(赤井ら 2012)。このため、カリを無施肥とできる水田は多いと考えられる。しかし、無施肥を続けると、交換性カリが減少する。稲麦藁の鋤き込みでこの減少を緩和できる可能性はあるが、長期的に交換性カリが少なくなった際はカリ施肥が必要と考えられた。

窒素肥沃度が低い水田では、速効性窒素を施肥しないと、初期の窒素吸収が劣り、分けつ数が得られず、低収となることも考えられる。試験水田の可給態窒素量は 106 mg kg^{-1} 以上であった。福岡県の水田の可給態窒素の改善目標値は 80 mg kg^{-1} 以上で(福岡県農林水産部経営技術支援課 2018)、試験水田はやや高かったことから、可給態窒素量が低い水田はさらに検討が必要である。なお、前年

夏作は、地区Aが水稲、地区B, Cは大豆で、本試験で前作による違いはなかった。

4. 水稲湛水直播に適した遅効性被覆尿素のみの施肥

水稲湛水直播において、リン酸とカリを無施肥とし、移植用肥料に含まれるものに近い一銘柄の遅効性被覆尿素を、移植用肥料を用いる場合の全窒素施肥量の8割で施肥すると、移植用肥料を用いる場合と同等の収量が得られた。この施肥法は、割高な被覆尿素のみを施肥するものの、リン酸とカリを施肥しないため、肥料代は地区Aで62% (= 遅効区 3403 円 / 慣行区 5520 円, 10 a あたり)、地区Bで64% (= 3437 円 / 5367 円)、地区Cで71% (= 3949 円 / 5530 円)と3-4割も安い。また、肥料の重量は、地区A, Bで39% (= $13.7 \text{ kg} / 35 \text{ kg}$)、地区Cで43% (= $17.2 \text{ kg} / 40 \text{ kg}$)と4割ほどとなった。この結果、肥料散布が容易になったことも栽培をされた生産者に好評であった。

以上のことから、暖地の二毛作水田における水稲湛水直播では、移植用肥料を使わず、その8割相当の窒素を遅効性被覆尿素のみで施肥することで、肥料の入手が容易、混和も不要で、収量と品質を低下させずに、肥料代の削減と省力化が実現できる。この方法は、速効性窒素がないため、暖地の直播で問題となる過繁茂を回避しやすい施肥法と考えられ、苗立ち確保に十分な量の種子を播種できることから、苗立ちの安定化、すなわち直播栽培の安定化に役立つと考えられる。

謝辞：本試験の実施にあたり、福岡県の吉田成章氏、佐賀県の高島一二三氏、後藤道夫氏を始めとする生産者に御協力いただいた。ジェイカムアグリ(株)には被覆尿素からの窒素溶出の調査に御協力いただいた。また、佐賀県農業試験研究センターの秀島好知氏に御助言等いただいた。さらに、農研機構九州沖縄農業研究センターの中野恵子氏、瀬戸口真規子氏、杉本由香氏、および業務科の諸氏に御協力いただいた。ここに記して感謝の意を表す。

引用文献

- 赤井直彦・鷲尾建紀・田淵恵・石橋英二 2012. 岡山県南部水田土壌の化学性調査および水稲茎葉中のナトリウム含有率に基づくカリウム減肥指針の作成. 土肥誌 83: 266-273.
- 福岡県農林水産部経営技術支援課 2018. 福岡県水稲・麦類施肥基準. 41. https://www.pref.fukuoka.lg.jp/uploaded/life/389925_54458882_misc.pdf (2020年5月25日閲覧).
- Hara, Y. 2000a. Application of the Richards function to nitrogen release from coated urea at a constant temperature and relationships among the calculated parameters. Soil Sci. Plant Nutr. 46: 683-691.
- Hara, Y. 2000b. Estimation of nitrogen release from coated urea using the Richards function and investigation of the release parameters using simulation models. Soil Sci. Plant Nutr. 46: 693-701.

- 原嘉隆・土屋一成・中野恵子 2009. 飼料用水稲栽培での牛糞堆肥の窒素肥料の効果における堆肥の腐熟度と施用時期の影響. 土肥誌 80: 241-249.
- 原嘉隆・秀島好知 2017. 暖地の農家水田におけるべんモリ被覆種子での代かき同時打ち込み点播による水稻湛水直播の苗立ちと収量および収穫物のモリブデン含有率. 日作紀 86: 201-209.
- 姫田正美 1995. 第2章 湛水直播栽培, 10 生育・収量, 櫛渕欽也監修, 直播稲作への挑戦 第1巻 直播稲作研究四半世紀のあゆみ. 農林水産技術情報協会, 東京. 197-206.
- 南條正巳・高橋智紀・庄子貞雄 1996. 還元剤を用いる水田土壌中の可給態リン含量の簡易測定法. 土肥誌 67: 73-77.
- 新良力也・伊藤豊彰 2016. 水稻作におけるリン酸減肥基本指針の策定. 土肥誌 87: 462-466.
- 農研機構中央農業研究センター 2014. 土壌診断, 施肥法改善, 土壌養分利用によるリン酸等の施肥量削減にむけた技術導入の手引き: 1-11. https://www.naro.affrc.go.jp/publicity_report/publication/pamphlet/tech-pamph/051697.html (2020年5月25日閲覧).
- 農研機構農業環境変動研究センター 2017. 日本土壌インベントリー. <https://soil-inventory.dc.affrc.go.jp/> (2020年5月25日閲覧).
- 農林水産省 2008. 地力増進基本指針. 2-3. https://www.maff.go.jp/j/seisan/kankyo/hozen_type/h_dozyo/pdf/chi4.pdf (2020年5月25日閲覧).
- 大塚紀夫・福田敬・馬場崎翔一・山口史子 2012a. 水稻-麦体系におけるリン酸とカリウムの減肥が養分吸収と土壌に及ぼす影響. 第75回九州農業研究発表会専門部会発表要旨集. 土壌肥料部会: 40.
- 大塚紀夫・福田敬・馬場崎翔一・山口史子・陣内宏亮 2012b. 水稻-麦体系におけるリン酸とカリウムの減肥が収量に及ぼす影響. 第75回九州農業研究発表会専門部会発表要旨集. 土壌肥料部会: 41.
- 大塚紀夫・山口文子・富永慧 2017. 被覆尿素のみの側条施肥による水稻の省力・低コスト施肥法. 第80回九州農業研究発表会専門部会発表要旨集. 土壌肥料部会: 4.
- 大塚紀夫 2018a. 水稻-大麦体系におけるリン酸と加里有無の減肥-減肥とわら施用が水稻の生育・収量と土壌の養分動態に及ぼす影響-. 農業と科学. 702: 7-13.
- 大塚紀夫 2018b. 被覆尿素のみの側条施肥による水稻の省力・低コスト施肥法. 農業と科学. 703: 7-13.
- 佐賀県 2020. 佐賀県施肥・病害虫防除・雑草防除のてびき. 11. https://www.pref.saga.lg.jp/kiji00321964/3_21964_152710_up_pll13bdg.pdf (2020年5月25日閲覧).

Growth and Yield of Wet Direct-Seeded Paddy Rice Cultivation Using Only Delayed-Release Coated Urea Fertilizer without Use of Phosphorus and Potassium in Rice-Barley Double-Cropped Paddy Field : Yoshitaka HARA (*Kyushu Okinawa Agric. Res. Cent., National Agric. Food Res. Org., Chikugo 833-0041, Japan*)

Abstract : Although rice direct seeding cultivation is increasing in warm regions, the practice area is still small, few fertilizers are suitable for direct seeding, and fertilizers for transplantation must be applied. However, direct seeding tends to cause lodging by overgrowth due to vigorous tillers, and the reduction in the seeding amount practiced to avoid the lodging sometimes results in insufficient number of seedlings. Accordingly, it is necessary to practice cultivation without reducing the seeding amount as well as reducing the amount of basal fertilizer to suppress overgrowth. It is not realistic to distribute the fertilizer for direct seeding and it is troublesome for farmers to prepare the fertilizer by mixing. Therefore, in the rice-barley double-cropped paddy fields, we conducted rice direct seeding cultivation using only delayed-release coated urea fertilizer, the amount of nitrogen of which was 80% of that used in the conventional transplantation, and did not apply phosphorus, potassium or basal nitrogen. The study was conducted in 3 districts including the paddy fields of the farmers in comparison with the plots where the conventional fertilizer for transplantation was applied. As a result, there were no significant differences in growth or yield between the two cultivation methods. Therefore, the fertilization method using only delayed-release coated urea fertilizer could be applicable for wet direct seeding in rice-barley double-cropped fields. This fertilizer application can save fertilizer cost and labor because the amount applied is small.

Key words : Delayed-release coated urea fertilizer, Direct-seeded paddy rice, No basal nitrogen, No phosphorus, No potassium, Rice-barley double-cropped paddy field.