

群馬県東毛地域における水稻全量基肥栽培専用肥料の開発

高橋行継^{1,2)}・阿部呂美¹⁾・加部武¹⁾・大島賢一³⁾・神沢武男³⁾・吉田智彦⁴⁾

(¹⁾ 群馬県農業試験場, ²⁾ 東京農工大学大学院連合農学研究科, ³⁾ 関東くみあい化成工業(株), ⁴⁾ 宇都宮大学農学部)

要旨：群馬県東毛地域の気象、土壌条件、栽培体系に適合した省力施肥技術の確立を主目的に水稻全量基肥栽培専用肥料について検討した。溶出タイプや溶出期間の異なる7種類の被覆尿素を用い、適切な溶出タイプ、溶出日数の選定及び組み合わせ、さらに速効性肥料との配合比率について様々な試作肥料を供試して検討した。1996年から5か年間検討を行い、LP70とLPS80及びLP100とLPS100の組み合わせで速効性肥料との配合比率を1:1とした試作肥料が基肥+追肥の標準施肥体系と収量・品質面で遜色ないことが明らかになった。これらの結果をもとに地元肥料メーカーと専用肥料について協議を行い、LP70とLPS80を1:1で配合し、速効性肥料との配合比率を1:1とすることに決定した。専用肥料は2000年から「ふれあい省力一発型253号」として販売を開始、現在広く普及している。

キーワード：水稻, 省力, 施肥法, 全量基肥, 肥効調節型肥料, 被覆尿素。

機械化作業体系の進んでいる稲作においても、本田施肥は手作業に頼る農家が依然として多く残っている。これらの農家では施肥作業の労力負担が大きく、特に追肥作業は7～8月の盛夏に行われるために敬遠されがちである。特に高齢化や兼業化の進行が著しい経営面積の零細、小規模な農家では、労力面以外でも適正な追肥時期や追肥量の判断が難しいことも手伝って、追肥を行わない農家も増えつつある。一方、生産コストの低減を図ることは緊急の課題で、経営規模の拡大はこの有効な手段である。大規模経営稲作農家での基肥作業は、機械化が進んでいるものの、動力噴霧器等による追肥作業はむらが生じやすいこともあって、手作業に頼っている農家が多い。このため、全面的な追肥を実施する大規模稲作農家は少なく、生育むらの調節程度にとどめたり、全く実施していない事例も多い。このように経営規模に係わらず、省力施肥技術の確立は急務である(高橋2003)。また、経営規模や主経営者の年齢とは関係なく、生産現場では増収や品質向上を目指した細かい肥培管理技術よりも、収量・品質は若干低下しても省力技術を求める傾向が少なからずあることは否定できない。現在、省力施肥技術として肥効調節型肥料を利用した水稻全量基肥施肥法(以下全量基肥)が普及し、追肥を省略した栽培体系が確立しつつある(北村・今泉1990, 上野ら1991, 上野1994, 北村・今井1995)。肥効調節型肥料の主成分である被覆尿素は、現在様々な溶出タイプや溶出期間のものが市販されている。しかし、窒素成分のみの単肥であり、通常は普通化成肥料(以下速効性肥料)と配合されて製品化、使用されている。被覆尿素は高価であり、コスト低減の観点からも両者の配合比率の検討も重要である。

これまで全国で検討された全量基肥法は、単一の被覆尿素による研究もある(関ら1992, 諸岡ら1996a, b)が、複数の被覆尿素を組み合わせた専用肥料を独自に研究、開発し使用している事例が多い(今井ら1993, 大竹ら1997)。これは水稻栽培が全国展開されているとはいえ、

地域差により気象条件や土壌条件が違い、品種や作期などの栽培体系も異なるためである。

群馬県東毛地域は県の南東部に位置し、関東平野に連なる標高10～50mの平坦地帯である。土壌は主に沖積堆積土で地力が高く、県下を代表する稲作地帯である。稲麦二毛作体系が普及しており、水稻の移植時期は6月中下旬が主体である。当地域の稲作経営規模は県下の他地域よりも大きい。一方で高齢化や兼業化の進展も著しく、さらに二毛作では麦類の収穫と水稻の移植作業が6月中下旬に集中する。このため省力施肥法の開発・普及は急務である。

そこで、群馬県東毛地域における全量基肥栽培について様々な試作肥料を供試した検討を行った結果、専用肥料が2000年に関東くみあい化成工業(株)(現JA東日本くみあい飼料(株))から「ふれあい一発省力型253号」として製品化された。同年の発売開始以来すでに5年を経過したが、当地域を中心に順調に普及してきたので、開発までの研究経緯について報告する。

材料と方法

試験は1996～2000年の5か年、群馬県館林市の群馬県農業試験場東部支場(現群馬県農業技術センター東部地域研究センター)内にある水田圃場(沖積堆積土：グライ土下層有機質・細谷統)で実施した。供試品種はゴロピカリ(1997年は朝の光)を用いた。移植日は年次によって若干異なるが、群馬県的水稻作期で早植(5月22日～6月15日移植)と普通期(6月16～30日移植)の2作期で実施した。早植は稚苗(播種量は乾粒150g/箱、育苗期間は概ね22日)、普通期は(同100g/箱、30日)を供試した。播種後、無加温積み重ね出芽法、出芽揃い後はプール育苗法(飯塚ら1978)により育苗した。今回供試した試作肥料は、リニアとシグモイドの2つの溶出タイプ、溶出期間40～100日の被覆肥料と速効性肥料を配合した。被覆肥料は尿素を樹脂コーティングしたもので、窒素成分のみ41%

を含む。これに速効性の単肥を配合して窒素、リン酸、加里をそれぞれ12%, 15%, 13%となるように成分を調整した。1996年はリニアの溶出期間100, 70, 50日(以下L100, L70, L50)とシグモイドの溶出期間100, 80, 60日(以下S100, S80, S60)の計6種類を供試した。窒素成分に占める被覆尿素の配合比率(以下緩効度と称する)は75%であった。1997年は前年の成績を参考に被覆尿素の種類を絞り込み、緩効度に関しても検討した。L100, L70, S100, S80の4種類を供試し、緩効度は70%と50%とした。なお、試験区はL100-70のように供試肥料名の後に緩効度を示すことで表記する。1998年は被覆尿素の組み合わせを中心に検討した。L100, L70, S80の単独区とL70 + S100, L100 + S100の混合区、共に両者の比は6:4及び4:6(以下、区名に続いて括弧書きで配合比を示す)を設定した。なお緩効度は全区50%とした。1999年はL40 + S80, L50 + S100, L70 + S80, L100 + S100の4試験区、緩効度は全区50%とした。2000年はL70 + S80, L100 + S100の2試験区、緩効度は共に50%とした。1996, 2000年は全層施肥、1997~1999年は側条施肥とした。標準区の施肥量は、群馬県稲作推進資料(群馬県農政部, 各年次発行)を参考に、稲麦専用複化成486(N-P-K:14%-18%-16%)を使用し、窒素成分で0.8 kg/a、追肥はNK化成(同:17%-0%-16%)を幼穂長約1 cmの時点に同0.2 kg/a施用した。全量基肥区の施肥量は、過年度の場内試験の結果(注:群馬県農業試験研究機関成果発表会要旨1995)を参考にして追肥を含む窒素成分で14%減の0.8 kg/aとした。なお、側条施肥の実施肥量は作業終了後に調査を行った。その結果、1997年は窒素成分で0.72 kg/a、1998年は0.8 kg/a、1999年は0.79 kg/aであった。各年の1区面積及び反復は1996年は両作期48 m², 2反復、1997年は同じく28 m², 2反復、1998年は早植13.5 m², 2反復、普通期14.4 m², 3反復、1999, 2000両年は両作期24 m², 3反復とした。

本田の生育状況は、移植後概ね40日目に草丈、茎数を、成熟期に稈長、穂長を各区連続10株、2か所調査した。葉色は、ミノルタSPAD502を使用して概ね移植後30日目から15日おきに120日目まで調査した。出穂期、成熟期は

観察によった。収穫は1区当たり3畦の連続10株を2か所、計60株実施、穂数を調査して風乾後に脱穀、籾すり作業を行い、玄米重等を調査した。1999年の全籾数は脱穀時に各区の収穫調査株の全籾を回収し、均分器で1/16に均分したサンプルから籾数を計測して求めた。登熟歩合は、全籾数と玄米千粒重から玄米粒数を算出して求めた(楠田1995a, b)。粗タンパク含量は、1996~98年はニレコNIR 6500HONによる白米、1999年は静岡精機GS2000による玄米の近赤外線測定値によって求めた。食味試験は標準区と同等の評価を0点とし、優劣を+2~0~-2点までの5段階で評価して11人のパネラーの平均点で示した。

結 果

1996年は6種類の被覆尿素肥料を供試した。移植後40日目の調査では草丈、茎数共に差はみられなかった。穂数は標準区の373本/m²とL70区の350本/m²との間に有意な差がみられたのみであった。成熟期は早植では標準区が最も早く、10月7日、各試験区は10月8~9日であった。また、普通期は10月22~23日で差はほとんどなかった。本年の水稻栽培期間の気象は8月中旬まで高温・多照、それ以降は低温・寡照傾向であった。玄米重はL100, L70区、S100区で標準区の59.2 kg/a並みであったが、L50, S80, S60各区でやや低下傾向にあった。しかしいずれも有意な差ではなかった。屑米比はS100区が3.0%で、他試験区よりも低い傾向がみられた。千粒重は22.5~22.8 g、粗タンパク含量(白米)も6.6~6.9%と差はみられなかった。早植と普通期両作期間の交互作用について分散分析を実施したが、交互作用は検出されなかった(第1表)。

1997年は前年の結果を基に被覆尿素の構成を見直し、4種類を供試すると共に緩効度も変えて検討した。移植後40~41日目調査では、L100-50区を除いて標準区との草丈に有意な差が認められた。茎数ではシグモイドタイプの試験区はリニアタイプ試験区の茎数よりも概ね少ない傾向にあり、この中でS100-50区は492本/m²となり、標準区の573本/m²に対して有意に少なくなった。稈長も移植後40日茎数と同様にS100-70, S100-50区において標準区の

第1表 生育・収量調査(1996年)。

区名	草丈 (cm)	茎数 (本/m ²)	稈長 (cm)	穂数 (本/m ²)	玄米重 (kg/a)	屑米比 (%)	千粒重 (g)	タンパク (%)
L100	67a	451a	96ab	351ab	58.7(99)a	3.8a	22.5a	6.8a
L70	68a	447a	95abc	350b	60.3(102)a	3.6a	22.8a	6.7a
L50	69a	470a	95abc	379a	55.7(94)a	4.0a	22.8a	6.6a
S100	68a	449a	94c	361ab	58.3(99)a	3.0a	22.8a	6.7a
S80	69a	467a	95abc	363ab	55.1(93)a	4.1a	22.7a	6.7a
S60	68a	478a	94bc	353ab	56.0(95)a	4.4a	22.7a	6.6a
標準	68a	473a	96a	373a	59.2(100)a	3.9a	22.8a	6.7a
交互作用	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns

早植、普通期2作期の平均値。草丈、茎数は移植後40日目。各収量形質の水分は15.0%換算。各数値右側の英小文字は、Duncanの多重検定で同一文字間には5%水準の有意差がないことを示す。交互作用は作期と供試肥料との関係を示す。

第2表 生育・収量調査(1997年).

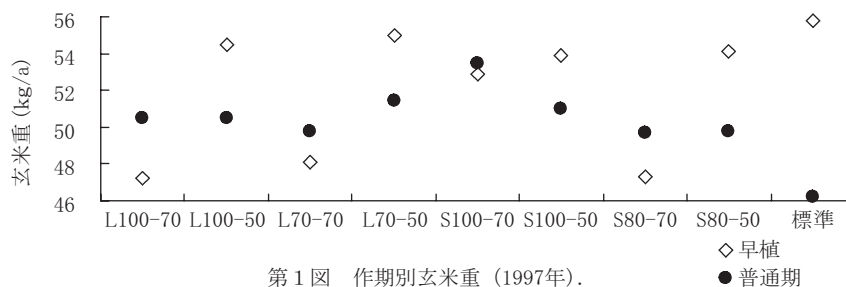
区 名	草丈 (cm)	茎数 (本/m ²)	稈長 (cm)	穂数 (本/m ²)	玄米重 (kg/a)	屑米比 (%)	千粒重 (g)	大粒比 (%)	品質 (1-9)	タンパク (%)
L100-70	63bc	575a	86ab	387ab	48.9(96)bc	8.6abc	20.2c	34.6c	4.9a	7.4a
L100-50	65a	581a	85bc	396a	52.5(103)a	7.1de	20.6c	40.7bc	4.7a	7.4a
L70-70	63bc	587a	87ab	388a	49.0(96)bc	9.3ab	20.4c	36.2c	4.9a	7.4a
L70-50	63bc	546ab	86ab	375b	53.2(104)a	6.2ef	20.6bc	42.6bc	4.9a	7.4a
S100-70	61e	500ab	83e	349c	53.2(104)a	5.2f	21.3a	52.8a	4.4a	7.5a
S100-50	61de	492b	85d	341c	52.3(103)a	5.2f	21.0ab	47.4ab	4.7a	7.5a
S80-70	63bc	528ab	88a	382ab	48.5(95)c	9.5a	20.4c	33.9c	4.7a	7.7a
S80-50	62cd	538ab	87a	380ab	52.0(102)ab	8.1bcd	20.6c	38.0c	4.9a	7.6a
標準	66a	573a	87ab	381ab	51.0(100)abc	7.4cde	20.5c	42.1bc	4.9a	7.2a
交互作用	ns	ns	ns	ns	**	*	ns	ns	ns	ns

早植, 普通期2作期の平均値. 草丈, 茎数は移植後40~41日目. 各収量形質の水分は15.0%換算. 品質は外観品質で1(上上)~9(下下)の9段階評価. 大粒比は粒厚2.0mm以上の玄米比率. 各数値右側の英小文字は, Duncanの多重検定で同一文字間には5%水準の有意差がないことを示す. 交互作用は作期と供試肥料との関係を示し, *, **印はそれぞれ5, 1%水準で有意.

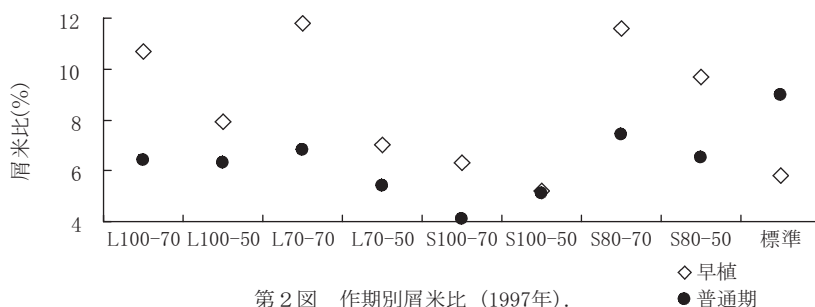
87cm に対して2~4 cm 下回った. 穂数も S100-70, S100-50 区において 349, 341 本/m² となり, 標準区の 381 本/m² より少なくなった. それ以外の区では標準区とほぼ同程度に確保できた. 出穂期は早植が8月15日, 普通期は8月26日で試験区間の差はほとんどなかった. 成熟期は早植が9月22~25日, 標準区と S100-50 区が9月22日で最も早く, L100-50 区が9月25日で最も遅かった. 緩効度によって成熟期がやや異なり, S-80 区を除いて 50% 区が 70% 区よりも 1~2 日遅れる傾向がみられた. 一方普通期は 10 月 11 日であり, 区間差はほとんどなかった. 本年の水稻栽培期間の気象は 7 月中旬まで高温・多照, それ以降は低温・寡照傾向であった. 玄米重は L70-50, S100-50 両区が 53.2 kg/a で試験区中最も多く, S80-70 区が 48.5 kg/a で最も少なくなった. 千粒重は S100-70, S100-50 区が 21.3, 21.0 g で標準区の 20.5 g を上回った. 大粒比は S100-70 区が 52.8% で標準区の 42.1% を上回っ

た. なお, 外観品質, 粗タンパク含量は対標準区との差はなかった. 施肥と作期間の交互作用を検定した結果, 玄米重と屑米比に有意性が認められた. 各供試肥料共に緩効度 50% の区は早植の玄米重が普通期の玄米重を上回った. 同 70% の区はその逆の傾向となり, 普通期の玄米重が早植の玄米重を上回った. 屑米比は作期による傾向の逆転はみられず, 緩効度 70% の区では同 50% の区よりも屑米比の作期間の差が拡大する傾向にあった (第 1, 2 図). その他の試験区及び普通期では緩効度による差は認められなかった. この他の調査項目では有意性は認められなかった. このように作期による交互作用は一部で有意であったが, 作期ごとの傾向には大きな差はなかった.

1998 年はリニアタイプとシグモイドタイプの混合区 4 区を新たに設定した. 両作期の試験区の反復数が異なるため, 作期ごとの特徴を述べる. 早植では全ての調査項目で標準区と試験区との間には有意な差は認められなかった. この



第1図 作期別玄米重 (1997年).



第2図 作期別屑米比 (1997年).

中で玄米重は、61.2 kg/a となった L100 + S100 (6:4) 区を除いて、標準区の 60.7 kg/a より下回る傾向がみられた。出穂、成熟期はそれぞれ 8 月 23 日及び 10 月 5 日で区間の差はほとんどなかった。一方、普通期は移植後 40 日目の草丈、茎数は標準区に対して有意な差がある区が多かった。草丈は L70 区を除いて標準区の 87 cm を 2~6 cm 下回った。茎数は L100, L70, L70 + S100 (4:6) 及び L100 + S100 (4:6) の 4 区で 397~417 本/m² となり、標準区の 447 本/m² を下回った。しかしながら成熟期調査、収量調査では、L100 + S100 (6:4) 区の屑米比と S100 区の千粒重に対標準区間の有意な差が認められた以外、明らかな差はなかった。出穂、成熟期はそれぞれ 8 月 27 日及び 10 月 8 日であり、区間差はほとんど認められなかった。水稻栽培期間の気象は全般を通じて寡照傾向で、成熟期に入ってから気温が高い傾向がみられた。この影響で稈長は例年になく伸長した。早植と普通期の各作期で最も多収であった試験区は、早植では L100 + S100 (6:4)、普通期は L100 + S100 (4:6) であった。前者は、他の試験区が標準区の玄米重 60.7 kg/a に及ばなかった中で有意な差ではないが、唯一標準区を上回る 61.2 kg/a の成績をあげた。また、粗タンパク含量は標準区の 7.5% に対して 6.8% と低い傾向にあり、食味評価も標準区並みであった。また、後者は標準区の玄米重 44.7 kg/a に対して標準区を上回る 46.9 kg/a と有意ではないものの、最も多収であった。また大粒比が標準区の 66.8% に対して 71.3% と試験区中最も高い傾向にあり、粗タンパク含量は標準区の 7.8% に対して 7.7% とほぼ同等であった (第 3 表)。

1999 年は前年の結果から作期毎に 3 種類の組み合わせ肥料を試作、検討した。早植では、移植後 40 日目の茎数、穂数及び収量調査結果はほぼ標準区並みであった。出穂、

成熟期の区間差は認められず、それぞれ 8 月 16 日及び 9 月 22 日であった。登熟歩合は L70 + S80 区、L100 + S100 区がそれぞれ 86.0, 86.6% となり、標準区の 82.5% を有意ではないがやや上回る傾向にあった。粗タンパク含量は L50 + S100 区が 8.6% で標準区の 8.4% より高くなった。一方、普通期では移植後 41 日の茎数が L40 + S80 は 429 本/m²、L100 + S100 区は 443 本/m² で標準区の 391 本/m² を上回った。出穂、成熟期の区間差は早植同様に認められず、それぞれ 8 月 28 日及び 10 月 12 日であった。本年は水稻栽培期間にわたって高温・多照傾向であった。特に 9 月以降の高温が顕著であり、両作期共に成熟期が早まった。特に早植は平年より 1 週間程度早くなった。高温の影響は早植に顕著に現れ、多穂となったが千粒重は小さく、収量増にはつながらなかった。粗タンパク含量は L100 + S100 区が標準区の 8.2% よりやや高く、有意な差と認められた。なお、食味試験では普通期 L100 + S100 区を除いて標準区を下回る評価の区はなかった。これ以外の調査項目はほぼ標準区並みであった (第 4 表)。

2000 年は有望と考えられた L70 + S80, L100 + S100 両区について年次間変動の検討を中心に確認試験として実施した。本年は 1999 年に引き続き水稻栽培期間は高温・多照傾向であった。9 月 2~3 日の台風通過に伴うフェーン現象のために出穂間もない普通期の水稻が被害を受け、収量・品質の低下が顕著であった。このため、早植の成績のみを第 5 表に示した。両試験区共に標準区と遜色ない結果が得られている。移植後 47 日目の茎数は両試験区で 464, 442 本/m² となり、標準区の 484 本/m² よりもやや下回る傾向にあるが有意ではなかった。出穂期は標準区が 8 月 14 日で、両試験区は 8 月 13 日と 1 日早かった。成熟期は 9 月 22 日で区間差はほとんど認められなかった。玄米重は

第 3 表 生育・収量調査(1998年)。

作期	区名	草丈 (cm)	茎数 (本/m ²)	稈長 (cm)	穂数 (本/m ²)	玄米重 (kg/a)	屑米比 (%)	千粒重 (g)	大粒比 (%)	品質 (1-9)	タンパク (%)	食味
早植	L100	82	465	102	381	59.6 (98)	3.4	23.5	88.3	5.0	7.1	-0.08
	L70	82	469	103	378	59.2 (96)	4.3	23.3	86.3	5.0	7.0	0.25
	S100	80	461	102	364	57.3 (94)	4.7	23.5	88.4	5.0	7.4	0.00
	L70+S100 (6:4)	82	451	101	369	58.2 (96)	3.9	23.5	88.0	5.0	7.0	0.00
	L70+S100 (4:6)	81	426	101	360	56.3 (93)	3.6	23.2	88.1	5.0	7.0	0.08
	L100+S100(6:4)	81	441	102	373	61.2(101)	4.0	23.6	89.0	5.0	6.8	0.08
	L100+S100(4:6)	80	442	100	371	57.7 (95)	2.8	23.7	91.1	5.0	6.8	-0.17
普通期	標準	82	464	101	383	60.7(100)	3.7	23.4	88.4	5.0	7.5	(0.00)
	L100	85*	410*	99	321	45.3(101)	7.8	22.2	67.1	6.0	7.6	0.10
	L70	85	417*	100	327	46.0(103)	7.4	22.2	68.6	6.0	7.5	—
	S100	83*	430	98	327	44.7(100)	9.6	22.5*	70.0	6.3	7.7	0.10
	L70+S100 (6:4)	83*	423	98	331	46.2(103)	8.1	22.4	71.0	6.0	7.7	0.10
	L70+S100 (4:6)	82*	405*	99	314	44.6(100)	7.6	21.8	68.3	6.0	7.5	—
	L100+S100(6:4)	84*	423	100	317	44.1 (99)	6.8*	22.2	67.5	6.3	7.7	0.00
期	L100+S100(4:6)	81*	397*	98	320	46.9(105)	8.1	22.4	71.3	6.0	7.7	—
	標準	87	447	100	328	44.7(100)	8.9	22.1	66.8	6.0	7.8	(0.00)

草丈、茎数は移植後40日目。水分は15.0%換算。品質は外観品質で1(上上)~9(下下)の9段階評価。大粒比は粒厚2.0mm以上の玄米比率。各数値右側の*印は各作期の標準に対してそれぞれ5%水準で有意(t検定による)。

第4表 生育・収量調査(1999年).

作期・区名	茎数 (本/㎡)	穂数 (本/㎡)	全穂数 (粒/㎡)	登熟歩合 (%)	千粒重 (g)	玄米重 (kg/a)	屑米比 (%)	大粒比 (%)	品質 (1-9)	タンパク食味 (%)
L50+S100	662	464	28850	81.8	21.8	51.4(99)	3.2	83.8	8.3	8.6* 0.10
早 L70+S80	616	441	27630	86.0	21.7	51.6(99)	2.3	86.4	7.5	8.6 0.20
植 L100+S100	593	428	27400	86.6	22.0	52.3(100)	1.9	87.6	8.0	8.3 0.00
標準	622	440	28550	82.5	22.3	52.3(100)	2.6	88.6	7.5	8.4 (0.00)
L40+S80	429*	387	25920	85.0	23.8	52.6(101)	3.5	81.1	3.3	8.5 0.17
普 L70+S80	406	390	25090	87.7	24.0	53.1(102)	2.6	83.2	2.7	8.3 0.00
通 L100+S100	443*	398	26360	86.7	24.2	55.4(105)	3.0	83.4	3.5	8.5*-0.11
標準	391	375	24740	88.6	23.8	52.2(100)	2.4	83.9	2.7	8.2 (0.00)

茎数は移植後日数で早植40日目、普通期は41日目調査。各収量形質の水分は15.0%換算。品質は外観品質で1(上上)~9(下下)の9段階評価。大粒比は粒厚2.0mm以上の玄米比率。各数値右側の*印は標準区に対して5%水準で有意(t検定による)。

第5表 生育・収量調査(2000年早植).

区名	茎数 (本/㎡)	穂数 (本/㎡)	全穂数 (粒/㎡)	登熟歩合 (%)	千粒重 (g)	玄米重 (kg/a)	屑米比 (%)	大粒比 (%)	品質 (1-9)	タンパク食味 (%)
L70+S80	464	376	26380	84.7	23.2	51.9(99)	2.1	90.0	7.8*	7.6 0.09
L100+S100	442	373	26180	84.6	23.3	51.6(99)	2.5	89.4	7.0	7.6 0.09
標準	484	381	27250	82.4	23.2	52.3(100)	2.2	88.9	6.8	8.0 (0.00)

茎数は移植後47日目。各収量形質の水分は15.0%換算。品質は外観品質で1(上上)~9(下下)の9段階評価。大粒比は粒厚2.0mm以上の玄米比率。各数値右側の*印は標準区に対して5%水準で有意(t検定による)。

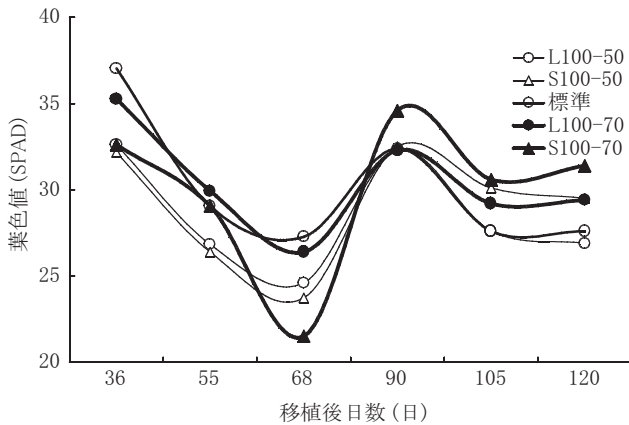
標準区の 52.3 kg/a に対してほぼ同等であった。外観品質は L70 + S80 区が 7.8 で標準区の 6.8 より劣った。粗タンパク含量は両試験区で標準区をやや下回る傾向にあった。それ以外の調査項目については、概ね標準区並みであった。

考 察

今回の研究目的は、追肥を省略した施肥体系の確立にある。緒言でも触れたとおり、収量や品質の向上を狙いとしたものではなく、あくまでも省力性を中心に基肥+追肥の標準施肥体系とほぼ同等程度の収量・品質を得ることを目標とした。今井ら(1993)をはじめ、過去の報告も同様の狙いで実施されている。1996 年は、市販されている被覆尿素有の様々な溶出パターン及び溶出期間の中から、水稻栽培に適していると考えられる 6 種類を主成分とする試作肥料を供試した。適切な溶出パターンに関して明確な結論は得られなかったが、溶出期間は 50~60 日のものを除けば、概ね基肥+追肥の標準区と同等かそれ以上の収量をあげられることが明らかとなった。なお、本試験による早植と普通期の移植時期の差は 1996 年は 15 日、1997 年は 30 日あった。1998 年以降については 21~34 日の間隔があった。近年、群馬県東毛地域では地域内の差がみられるものの、麦の作付け面積は減少傾向にある。このため、水稻移植時期の制約が以前よりも少なくなってきた。移植時期が最近 10 年間で半月以上前進した地域も少なくない。このような背景や実際の現場での個々の経営形態、水利慣行等の事情もあって、実際には早植と普通期にまたがって連続的に水稻栽培がなされている。このように現場では必ずしも早植、

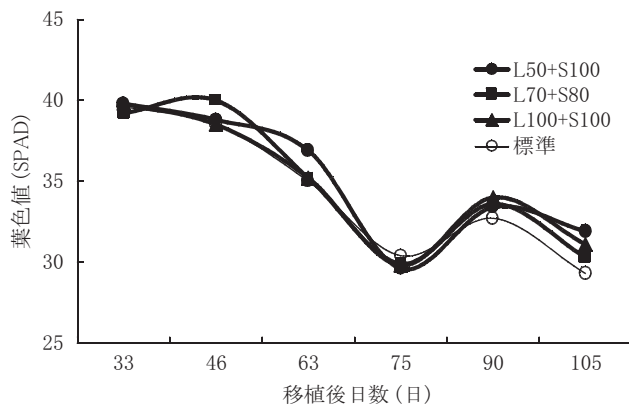
普通期といった移植時期の厳密な使い分けがなされているとは言い難い。これらの状況を考慮すると、両作期に汎用性の高い技術が必要であると考えられる。そこで 1996、1997 両年は両作期の試験区構成が同一、同反復数であるため、両作期の平均値を求めて検討することにした。1996 年の作期による交互作用について分散分析を実施して検討したが、有意性はいずれの調査項目でも検出されなかった。この点に関しては移植時期の差が 15 日と比較的接近していたことも影響していると考えられた(第1表)。また、交互作用の有意性が認められた 1997 年でも玄米重、屑米比のみであった。玄米重は供試肥料の緩効度による作期間での傾向の逆転がみられた。屑米比では傾向の逆転はみられず、それ以外の調査項目では作期と供試肥料による交互作用の有意性は認められなかった。全般的には作期による傾向の差は小さく、ここでは作期を平均した値での考察を行った。(第2, 3表)。

本研究で供試した被覆尿素は、尿素を樹脂コーティングした窒素成分のみの資材である(庄子 1999)。このため、一般向けの化成肥料として製品化するためには、燐酸と加里成分を含む普通化成肥料と混合する必要がある。被覆尿素と普通化成肥料の配合割合をどのように設定するかは、水稻の生育収量に大きく影響してくるのみならず、肥料の製品単価とも深く関わってくる。特に被覆尿素は高価であり、この使用割合をなるべく減じて、価格を抑えることが普及のための条件でもあったと考えられる。そこで、1997 年は被覆尿素使用割合について検討した。緩効度は 70%と 50%の 2 段階としたが、現在発売されているリニア、シグモイド両タイプは、同じ溶出期間をもつ製品がないも



第3図 葉色の推移 (1997年早植).

葉色値は、ミノルタSPAD502による測定値.



第4図 葉色の推移 (1999年早植).

葉色値は、ミノルタSPAD502による測定値.

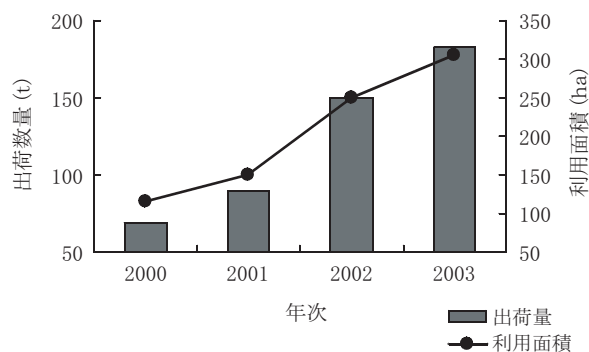
のがある。そこで、両者の100日間溶出の試作肥料を比較した。緩効度に係わらずリニアタイプはシグモイドタイプに対して初期生育は優るが、収量性はほぼ同等であった。一方、シグモイドタイプは初期生育はやや劣ったが、屑米率が低い傾向があり、玄米重はリニアタイプと遜色なかった。また千粒重、大粒比などの外観品質は概ね優れていた。これらの結果は北村ら(1991)、今井ら(1993)の報告とおおむね一致した。しかし、粗タンパク含量が標準区よりもやや高くなる傾向があることが明らかとなった(第2表)。1990年代後半から玄米の品質、とりわけ食味と関係が深い粗タンパク含量をどのように抑えるかが大きな課題となってきた。シグモイドタイプは、標準施肥体系において追肥に相当する役割を担い(大竹ら1997)、生育期後半を中心に肥料成分が溶出する。このため気象条件にもよるが成熟期後半まで肥効が残りますやすく、玄米タンパク含量を抑制するという点で不利な形質であるといわざるを得ない。この点は葉色の推移からもうかがえた(第3図)。なお、玄米重及び屑米比に関しては作期によって異なった結果が得られ、交互作用があることが明らかになった(第1, 2図)。一方、両作期の平均値によるとリニア、シグモ

イドの両溶出パターンとも70%と50%との間に有意な差がある調査項目は少なかった。このため、低コストを重視して緩効度を50%として翌年以降の検討を進めることにした。

1998年は、この両溶出タイプの特性を引き出すために、両者を組み合わせた肥料も試作して検討した。試験結果から有意な差は少ないものの、単一の被覆尿素を使用するよりは、リニアとシグモイドの両タイプの長所を活かすような組み合わせが有望であると判断できた。各作期で最も収量性が高く有望であると考えられた試作肥料は、早植ではL100 + S100 (6:4)、普通期はL100 + S100 (4:6)であった。

1999年は、供試肥料をリニアとシグモイドの両タイプを組み合わせたものに絞って検討を行った。前年に好成績であった組み合わせのほか、不足気味となりやすい初期生育を補うために、溶出期間の短いL40、L50をそれぞれS80、S100と組み合わせた試験区を設定した。また、シグモイドタイプについては粗タンパク含量を抑えるために、溶出期間が短いS80を取り入れて検討した。しかし、L40、L50を組み合わせた区は玄米重では標準区と遜色なかったものの、登熟歩合がやや低く、千粒重や大粒比、粗タンパク含量が他の試験区よりもやや劣る傾向がみられた。それ以外の組み合わせについては、成績は標準区とほとんど遜色はなく、有意な差もごく少なかった。葉色の推移も標準区に近似しており、窒素成分の供給パターンが標準区に近づいたことを示している(第4図)。以上の結果から、早植はL100 + S100、普通期はL70 + S80の組み合わせが最も優れていると考えられた(第4表)。なお、2000年に上記両タイプの肥料を供試した確認試験を実施したが、標準区に対して概ね遜色がない結果が得られている(第5表)。

以上の結果を基に、関東くみあい化成工業(株)(現JA東日本くみあい飼料(株))と協議を行った。協議では移植時期によって最適な肥料の組み合わせや配合比率が異なるが、複数製品化しても現場で厳密な使い分けが可能かという問題があり、まだ需要動向が明らかなでない以上、製品は1本化が望ましいことの結論に至った。また、1993年の冷害年に地元篤農家からも肥効調節型肥料の遅効きが指摘されていたように、低温年には溶出が遅れ、溶出期間が長いものほど遅くまで肥効が残ったり、水稻に吸収されずに土壌に残る可能性があることが溶出シミュレーションから明らかになっていた。結論として麦の栽培減少等により水稻移植時期は前進傾向にあるものの、当該地域の移植時期は稲麦二毛作の6月中下旬の普通期が中心であることを考慮して、チッソ旭肥料(株)のLP70とLPS80を1:1で配合し、緩効度は50%とすることに決定した。肥料は「ふれあい一発省力型253号」と命名、2000年から館林市、明和町や板倉町などを中心に発売されている。本肥料のN-P-K比は12-15-13%で、JA販売単価2200円/20kgである。肥効調節型肥料は肥料の利用効率が高まるため、10~20%程度の



第5図 「ふれあい省力一発型」出荷実績と利用面積。

出荷数量は、JA東日本くみあい飼料(株)調べ。
利用面積は推定値。

減肥が可能であることが明らかになっている（注：群馬県農業試験研究機関成果発表会要旨 1995）。県下に普及しているゴロビカリを例にとると、追肥を含む標準窒素施用量は、全層施肥で10a当たり基肥7kg、追肥2kgの計9kg（注：群馬県稲作推進資料 各年次発行）である。同JA管内で標準的に使用されている化成肥料（N-P-K比12-15-14%）とNK化成（同17-0-16%）による「基肥+追肥」の標準体系では、費用は5397円/10aとなる。一方、「ふれあい一発省力型253号」を同7kg/10a（22%減）施用すると、現物施用量は58.3kg/10aで費用は6413円、経費は約19%の増加となる。しかし、第5図に示すとおり普及は順調で、毎年前年対比20～50%の伸びを示しており、今後も利用増が見込まれている。このことは、コスト増となっても省力施肥に対する要望の高さを物語るものである。出荷数量から推定した利用面積は、2003年に300ha（60kg/10aで換算；ただし4月～翌年3月）に達している。この面積は主な販売先である館林市、明和町、板倉町の水稲作付け面積約3760ha（群馬農林統計協会2005）の8%に当たる。まだ利用面積が多いとは言えないが、省力施肥技術の普及のために本肥料が今後も広く利用されることを願ってやまない。

謝辞：今回の試験実施に際して関東くみあい化成(株)（現JA東日本くみあい飼料(株)）の塚田耕一、今井勝、小林克弘諸氏を始め、JA館林市、場内の各位に多くの協力及び情報

の提供をいただいた。また、籾数の調査方法に関しては、九州農業試験場（現農業・生物系特定産業技術研究機構）楠田宰博士にデモンストレーションを交えた懇切丁寧な指導をいただき、その後も貴重な助言をいただいた。ここに記して深く感謝する。

引用文献

- 群馬農林統計協会 2005. 第51次群馬農林水産統計年報 2005：1-232.
- 飯塚国夫・金井博・島田忠男 1978. 水稻機械植用箱苗の簡易育苗法．農及園 53：687-688.
- 今井克彦・日置雅之・鈴木智香子・澤田守男 1993. 肥効調節型肥料の溶出パターンの推定と水稻の全量基肥施肥法への適応性．愛知農総試研報 25：51-60.
- 北村秀教・今泉諒俊 1990. 水稻への窒素供給量からみた全量基肥施肥法．愛知農総試研報 22：51-60.
- 北村秀教・今井克彦 1995. 肥効調節型肥料による施肥技術の新展開 1—水稻の全量施肥技術—．土肥誌 66：71-79.
- 楠田宰 1995a. 水稻収量調査における㎡当たり籾数の効率の調査法．日作九支報 61：12-15.
- 楠田宰 1995b. 水稻の収量及び収量構成要素の調査方法について．植調 29：138-143.
- 諸岡有子・狩野幹夫・中川悦男 1996. 肥効調節型被覆尿素を用いたコシヒカリの全量基肥栽培第1報．日作関東支部報 11：26-27.
- 諸岡有子・狩野幹夫・中川悦男 1996. 肥効調節型被覆尿素を用いたコシヒカリの全量基肥栽培第2報．日作関東支部報 11：28-29.
- 大竹敏也・今井克彦・池田彰弘・井上正勝 1997. 山間・中山間地における肥効調節型肥料を用いた水稻の全量基肥施肥法．愛知農総試研報 29：39-45.
- 関稔・中嶋康則・森繁美 1992. 西三河洪積台地における水稻「葵の風」の品質・食味からみた全量基肥施肥法．愛知農総試研報 24：19-29.
- 庄子貞雄 1999. 環境保全型農業における新肥料の活用．農林水産研究ジャーナル 22：6-11.
- 高橋行継 2003a. プール育苗及び晩植における水稻育苗箱全量基肥栽培の検討（第1報）．日作紀 72（別1）：274-275.
- 上野正夫・熊谷勝巳・富樫政博・田中伸幸 1991. 土壌窒素と緩効性被覆肥料を利用した全量基肥施肥技術．土肥誌 62：647-653.
- 上野正夫 1994. 山形県における良質米（水稻ササニシキ）の安定生産のための生育と窒素吸収パターン並びに地力窒素を生かした窒素施肥法の開発．山形農試特研報告 22：1-86.

The Development of Special Fertilizer for Non-split Application of Fertilizer to Paddy Rice in Tomo Area of Gunma Prefecture : Yukitsugu TAKAHASHI^{1,2)}, Murami ABE¹⁾, Takeshi KABE¹⁾, Ken-ichi OSHIMA³⁾, Takeo KANZAWA³⁾ and Tomohiko YOSHIDA⁴⁾ (¹⁾*Gunma Agr. Exp. Stn.*, ²⁾*United Grad. sch. of Agr.Coll., Tokyo Univ. of Agr. and Tech.*, ³⁾*Kanto Kumiai Kasei Kougyou Co., Ltd.*, ⁴⁾*Fac. Agr., Utsunomiya Univ.*)

Abstract : We examined a special fertilizer for non-split application to paddy rice in order to develop a labour-saving method of fertilizer application suitable for climate, soil condition, and cultivation system in Tomo area of Gunma prefecture. We used seven kinds of coated urea which varied in release type and period, and examined the optimum release type, release period and combination or mixing-rate of fertilizers. Experiments over five years showed that the experimental fertilizers composed of (LP70+LPS80 or LP100+LPS100 with the ratio of fast and slow-release fertilizer at 1:1) was as good as the standard fertilization system which were both of basal and top dressing in yield and quality. From these results, we consulted with the local fertilizer company and determined that the special fertilizer should consist of LP70 (fast-release fertilizer) and LPS80 (slow-release fertilizer) at a ratio of 1:1. In 2000, we started selling the special fertilizer named “Fureai- Ippatsu-shouryokugata 253”, and it is widely used today.

Key words : Coated urea, Controlled availability fertilizer, Labor-saving, Method of fertilizer application, Non-split application of fertilizer, Paddy rice.
