ポット苗を用いた寒冷地の水稻栽培における 肥効調節型被覆尿素の全量基肥施用*

佐藤 徳雄・渋谷 暁一・三枝 正彦

(東北大学農学部附属農場)

1996年2月19日受理

要 旨: 寒冷地稲作の省力・安定多収を図るために、ポット苗移植の慣行施肥およびマット苗移植の慣行施肥を対照として、ポット苗移植の肥効調節型被覆尿素を用いた全量基肥施用栽培について、重窒素を用いて1990年、1991年の2カ年間検討した。ポット苗区は苗形質が良好で、本田移植後の草丈、株当たり茎数はマット苗区よりも優ったが、栽植密度が低かったため、 m^2 当たり茎数は劣った。ポット苗・被覆尿素区では、施肥窒素が地温に比例して溶出するため、ポット苗・慣行施肥区よりも生育初期（低温時）の草丈、茎数は劣ったが、穂首分化期から肥効が高まって他区より生育が優り、葉緑素計値と乾物重が高くなった。玄米収量は、ポット苗・被覆尿素区>ポット苗・慣行施肥区>マット苗・慣行施肥区の順であった。ポット苗・被覆尿素区の高収量の要因は、初期の窒素の発現をおさえて無効分げつ発生を抑制し、肥効の持続性によって穂首分化期以降の葉色の落ち込みを小さくしたことによるものと推定された。その結果、稲体は穂首分化期以降登熟後期まで窒素濃度が高く推移し、光合成能力を高めて穂数、粒数が増加し、登熟が促進したものと思われた。施肥窒素の吸収量および利用率は、ポット苗・被覆尿素区>ポット苗・慣行施肥区>マット苗・慣行施肥区の順であった。基肥窒素の利用率は硫酸が30~40%であるのにたいして肥効調節型被覆尿素では63~68%と著しく高い値であった。また、追肥硫酸の利用率は41~59%と基肥より高い値を示した。

キーワード: 重窒素, 収量, 水稻, 全量基肥施用, 肥効調節型被覆尿素, ポット苗。

A Single Basal Application of Controlled-Release Coated Urea to Rice Cultures Using Pot Seedlings in a Cool Region: Tokuo SATO, Kyoichi SHIBUYA and Masahiko SAIGUSA (*Experimental Farm of Tohoku University, Kawatabi, Naruko, Tamatsukuri, Miyagi 989-67, Japan*)

Abstract: A low-cost, high yielding culture of rice was studied by the application of controlled-release coated urea (CU) to pot seedlings (PS)—raised in a pot culture nursery box—cultivated in a cool region, and compared to the application of conventional fertilizer (CF) to pot seedling (PS) and mat seedlings (MS)—raised in a broadcast seeding nursery box. The plant length and the number of tillers per hill in the PS plots were longer and larger than those in the MS plots due to the superior characteristics of the seedlings. However, the number of tillers/ m^2 in the PS plots was less than that in the MS plots. Reflecting the nitrogen released from the coated urea, the plant length and number of tillers/ m^2 in the PS-CU plots were inferior to those in the PS-CF and MS-CF plots at the early growth stage. However, after the neck node differentiation stage, these were reversed due to the increased release of nitrogen from the coated urea. As a result, the leaf color value and dry weight of the rice in the PS-CU plots were higher than those in the PS-CF and MS-CF plots. The yields of brown were in the following order: PS-CU plot>PS-CF plot>MS-CF plot. The number of panicles and spikelets were larger in the PS-CU plot than those in the PS-CF and MS-CF plots, which might affect the increased yield. It seems that the photosynthetic activity of the rice plants in the PS-CU plot was maintained at a high rate throughout the ripening stage. The nitrogen uptake and efficiency of the applied fertilizer were in following order: PS-CU plot>PS-CF plot>MS-CF plot. The recovery of basal nitrogen in coated urea (63~68%) was much greater than that of ammonium sulfate (30~40%), and greater than the recovery of the top dressed nitrogen of ammonium sulfate (41~59%).

Key words: Controlled-release coated urea, ^{15}N , Pot seedlings, Rice culture, Single basal application, Yield.

近年、作物の窒素吸収速度と栽培期間に合わせて窒素を供給できる肥効調節型被覆肥料が開発¹⁾され、リン酸、カリを含む速効性窒素肥料と配合したバルクブレンド肥料を用いた全量基肥施用栽培法が確立^{4,14,17)}され、本田での省力施肥栽培が定着しつつある。また、ササニシキやコシヒカリのような倒伏しやすい品種の作付け地帯や肥沃田、湿田、復元

田のように地力窒素の発現量の多いところでは、生育初期の過繁茂と生育後期の凋落を防ぐために、水稻の窒素吸収パターンに合わせ、一定期間は窒素の溶出がほとんどみられず、その後急速に溶出する時限式の被覆肥料が開発¹⁾され、全量基肥施用栽培が実用化されている。筆者らは、これまで寒冷地稲作における省力、低コスト栽培法を検討し、ポット苗を用いた移植栽培が初期生育を確保し、安定多収に結びつくことを明らかにした^{5,7,9,11)}。本報では、肥

* 大要は、第197回講演会（1994年4月）において発表。

効調節型被覆尿素を用いて、本田での施肥作業の省力化を試みるとともに重窒素トレーサー法で肥効調節型被覆尿素と慣行の硫安の利用効率を検討した。

材料と方法

栽培試験は、1990～91年に中山間地に位置する東北大学農学部附属農場内水田（標高約165 m, 2:1～2:1:1型中間種粘土鉱物を主体とする非アロフェン質黒ボク土）で実施した。

供試品種として中稈中間型のサトホナミを用いた。播種は兩年とも3月末に、ポット苗は2～4粒/穴（448穴/箱:60×30×3 cm）、マット苗は乾籾で120 g/箱（60×30×3 cm）を播種し、加温出芽後アクリル波板で造ったハウスで育苗した。移植期は1990年が5月14日、91年が5月9日で、栽植密度は、移植機の機能上ポット苗移植区は17.8株/m²（33×17 cm）、マット苗移植区は20.8株/m²（30×16 cm）とした。

処理区は、A:ポット苗移植・被覆尿素区、B:ポット苗移植・慣行施肥区、C:マット苗移植・慣行施肥区とした。被覆尿素はチッソ旭肥料（株）製のLP-100を用いた。この肥料は、25℃水中で窒素量の80%を溶出するのに100日を要するように樹脂で被覆された緩効性の粒状尿素肥料である。本田の10 a 当たりN施用量は各区とも8 kgとし、A区は被覆尿素を基肥に全量施用し、B、C区は基肥に塩加磷安を5 kg、幼穂形成期（兩年とも7月16日）と穂揃期（1990年が8月12日、91年が8月19日）に硫安でそれぞれ1.5 kgずつ追肥した。その他に全量基肥として、いずれの区にもリン酸はP₂O₅として7.5 kg、カリはK₂Oとして6.8 kgを施用した。基肥はみのる成苗ポット田植機とイセキ田植機を用いて移植時に根ぎわの約5 cmの深さに側条施肥した。

1区面積は、ポット苗移植のA区とB区がそれぞれ60 m²（6×10 m）、マット苗移植のC区が54 m²（5.4×10 m）であり、各処理区とも3反復で実施した。

生育調査には、各区とも中央部から隣り合わせて3条について4株ずつ選定し、合計12株について移植後2週間ごとに草丈、茎数および葉色（ミノルタ葉緑素計SPAD-502による測定）を調査した。

乾物重は、分けつ初期、分けつ盛期、最高分けつ期、出穂期および成熟期に、後述する枠試験区から、各区8株ずつ採取し、地上部を葉身と葉鞘+

稈、出穂後はさらに穂に分け、80℃で48時間乾燥後測定した。

玄米収量は、成熟期に各区35株ずつ3カ所、合計105株を刈り取り常法によって、また、収量構成要素は、生育調査株を分解（登熟歩合は比重1.06の塩水選により分別して算出）して測定した。

被覆尿素的窒素溶出率は、1990年5月16日に側条施肥と同じ位置に窒素量で1.2 g相当のLP-100を200 gの土壌と混和して、寒冷紗に包み埋設し、経時的に3包ずつ採取して、残存尿素量をPDAB法¹⁸⁾で定量して算出した。

施肥窒素の挙動は、¹⁵N・LP-100（3.06 atom%）と¹⁵N硫安（3.15 atom%）を用い、枠試験（ポット苗:33×34 cm、マット苗:30×32 cm）で1回4枠ずつ採取し、全窒素はケルダール法を用いて測定し、¹⁵Nはケルダール分解液を用いて発光分光分析法（日本分光、N-150型）²¹⁾で定量した。なお、ポット苗とマット苗の移植時における苗形質を年次別に比較すると、次のようである。即ち、ポット苗の草丈は1990年が15.0 cm（1991年が11.7 cm）、葉齢は5.9（4.9）、分けつ数1.2本（1.3本）、地上部乾物重40.4 mg（36.2 mg）、マット苗のそれは、12.6 cm（14.3 cm）、4.0（4.1）、0本（0本）および27.2 mg（24.8 mg）で、ポット苗の方が葉齢が進み、分けつも発生し、良質であった。

結 果

1. 生育経過と乾物重の推移

本田移植後における処理区別の草丈、茎数および葉色の推移を第1図に示した。ポット苗区は、苗形質が良く、移植時の植え傷みも少ないために、初期生育が順調で、草丈はマット苗区よりも高めに推移した。生育初期の株当たり茎数もポット苗区の方が優った。m²当たり茎数は、生育初期にはおおむね栽植株数に比例して増加したため、ポット苗区とマット苗区の差は僅少であったが、最高分けつ期にいたるとマット苗区が優った。しかしながら、茎数が多いほど有効茎歩合が低下したため、処理間の穂数の差は著しく縮小した。

ポット苗区に埋設した被覆尿素的全窒素の溶出率は、第2図に示すように地温と密接に関係し、日平均を25℃とした積算地温で求めると、全窒素の80%が溶出するまでに約90日を要した。その時期は8月中旬頃（1990年の穂揃期頃）に相当した。ポット苗・被覆尿素区の初期生育は、同・慣行施肥

第1表 地上部乾物重 (g/m²) の推移

年次	処理区	調査日 (月/日)				
		6/5	6/30	7/16	8/13	9/14 (茎葉・穂)
1990	ポット苗・被覆尿素	9.3 ^a	169 ^a	357 ^a	983 ^a	1,523 ^a (849 ^a ・674 ^a)
	ポット苗・慣行施肥	6.2 ^b	154 ^a	345 ^a	928 ^b	1,278 ^b (646 ^b ・632 ^{ab})
	マット苗・慣行施肥	5.1 ^b	112 ^b	294 ^b	859 ^c	1,200 ^b (637 ^b ・563 ^b)
1991	ポット苗・被覆尿素	14.2 ^{ab}	159 ^a	352 ^a	840 ^a	1,264 ^a (613 ^a ・651 ^a)
	ポット苗・慣行施肥	17.4 ^a	164 ^a	332 ^a	782 ^a	1,167 ^a (575 ^a ・592 ^a)
	マット苗・慣行施肥	10.7 ^b	118 ^b	281 ^b	684 ^b	965 ^b (477 ^b ・476 ^b)

同一アルファベットは同一年次の処理間で5%水準で有意差のないことを示す。

第1図 草丈、茎数および葉色の推移

(●—●):ポット苗・被覆尿素区, (○---○):ポット苗・慣行施肥区, (△---△):マット苗・慣行施肥区。

** : 1%水準で, * : 5%水準で有意差があることを示す。

区より劣ったが、穂首分化期頃から肥効が高まって生育が旺盛になり、最終的にはポット苗・慣行施肥区より草丈が高く、穂数も多くなった。また、葉緑素計値は、6月下旬の有効分げつ決定期には両年とも49前後で、処理間の差は僅少であったが、その後は被覆尿素施用区の方が高く推移した。なお、出穂期は、1990年のポット苗区が8月6～8日、マット苗区が8月12日、1991年は、それぞれ8月11～14日および8月16日であった。両年ともポッ

第2図 被覆尿素 (LP-100) の窒素溶出パターン (1990年)

日数は施用後の平均地温の積算値について日平均地温を25℃として求めた。

ト苗区の方が2～4日出穂が早まったが、施肥区間では慣行施肥区の方が被覆尿素施肥区より早まる傾向がみられた。乾物重は、第1表に示すように、生育初期には、年次変動がみられたが、穂首分化期以降は両年ともポット苗・被覆尿素区が最も多くなった。成熟期におけるポット苗・被覆尿素区のm²当たり乾物重は、1990年が1,523g (茎葉849g, 穂674g), 1991年が1,264g (茎葉613g, 穂651g)で、ポット苗・慣行施肥区よりも1990年が19% (茎葉31%, 穂7%), 1991年が8% (茎葉7%, 穂10%), マット苗・慣行施肥区よりも1990年が27% (茎葉33%, 穂20%), 1991年が31% (茎葉29%, 穂37%) ほど多くなった。

2. 収量および収量構成要素

各処理区の収量および収量構成要素を第2表に示した。なお、当農場の所在する宮城県鳴子町の10a当たり平均玄米収量および作況指数は、夏期が高

第2表 収量および収量構成要素

年次	処理区	玄米収量 (g/m ²)	穂数 (本/m ²)	有効茎歩合 (%)	粒数 (粒/m ²)	登熟歩合 (%)	玄米千粒重 (g)
1990	ポット苗・被覆尿素	672 ^a	435 ^a	77.8	38,900 ^a	79.5	21.7
	ポット苗・慣行施肥	589 ^b	375 ^b	72.3	33,600 ^b	81.0	21.7
	マット苗・慣行施肥	576 ^b	439 ^a	73.2	34,900 ^b	76.2	21.6
1991	ポット苗・被覆尿素	454 ^a	405	77.1 ^a	29,100 ^a	80.7	19.3
	ポット苗・慣行施肥	404 ^b	390	68.8 ^b	25,900 ^b	80.8	19.3
	マット苗・慣行施肥	382 ^b	422	61.2 ^c	25,400 ^b	78.2	19.2

同一アルファベットは同一年次の処理間で5%水準で有意差のないことを示す。

第3図 由来別窒素の吸収経過

温多照で経過した1990年が464 kg:113, 夏期が低温寡照で経過した1991年が291 kg:71であった。

ポット苗・被覆尿素区の10a当たり玄米収量は、1990年が672 kg, 1991年が454 kgで、ポット苗・慣行施肥区よりもそれぞれ14%および12%, マット苗・慣行施肥区よりもそれぞれ17%および19%増収した。

ポット苗・被覆尿素区のm²当たり粒数は、1990年が38,900粒, 1991年が29,100粒で、ポット苗・慣行施肥区よりもそれぞれ16%および12%, マット苗・慣行施肥区よりもそれぞれ12%および15%多

くなった。ポット苗・被覆尿素区の登熟歩合は、1990年が79.5%, 1991年が80.7%, 玄米千粒重は、1990年が21.7 g, 1991年が19.3 gで、ともに他の処理区と大きな差は認められなかった。

3. 窒素吸収量と施肥窒素の利用率

¹⁵N被覆尿素および¹⁵N硫安の枠試験区で生育した水稻の由来別窒素吸収量の推移と施肥窒素の利用率を第3図および第3表に示した。

窒素の吸収量は、6月5日頃までは1 g/m²以下の値で処理間に大きな差は見られなかったが、それ以降は被覆尿素区が著しく多くなった。

第3表 成熟期における窒素吸収量と施肥窒素の利用率

年次	処理区	N 吸収量 (g/m ²)			施肥 N の利用率 (%)			
		全 N	施肥 N	地力 N	基肥	穂肥	実肥	全体
1990	ポット苗・被覆尿素	12.29	5.44	6.85	68.0	—	—	68.0
	ポット苗・慣行施肥	9.71	3.46	6.25	40.5	41.1	54.5	43.3
	マット苗・慣行施肥	9.36	3.05	6.31	32.6	41.3	53.4	38.1
1991	ポット苗・被覆施肥	12.02	5.04	6.98	63.0	—	—	63.0
	ポット苗・慣行施肥	10.22	3.25	6.97	30.8	58.8	55.7	40.6
	マット苗・慣行施肥	8.98	2.81	6.17	30.3	42.9	43.1	35.1

成熟期におけるポット苗・被覆尿素区の m² 当たり窒素吸収量は、1990 年が 12.29g (施肥窒素: 5.44 g, 地力窒素 6.85g), 1991 年が 12.02g (施肥窒素: 5.04g, 地力窒素 6.98g) で、ポット苗・慣行施肥区よりも 1990 年が 27% (施肥窒素: 57%, 地力窒素: 10%), 1991 年が 18% (施肥窒素: 55%, 地力窒素: 0%), マット苗・慣行施肥区よりも 1990 年が 31% (施肥窒素: 78%, 地力窒素: 9%), 1991 年が 34% (施肥窒素: 79%, 地力窒素: 13%) 多くなった。

重窒素トレーサー法による基肥窒素の利用率をみると硫酸が 30~40% であるのに対して被覆尿素 LP-100 は 63~68% と著しく高い値であった。また、追肥硫酸の利用率は 41~59% と基肥硫酸より高い値を示した。

考 察

寒冷地稲作の安定多収を図るためには、早期に茎数を確保するとともに過繁茂を防ぎ、有効茎歩合や登熟歩合を高めることが必要であると考えられる^{5,7)}。必要生育量の早期確保は、苗形質が優れ、植え傷みの少ないポット苗を用い、その側条施肥によって容易になった^{7,8,9,10,11,13)} が、反面、ポット苗移植に対する側条施肥用の肥料の種類や施用量および追肥との組合せ如何によっては、過剰生育や後期凋落、倒伏、登熟不良といった現象を引き起こし減収することが考えられる。ところで、近年開発された肥効調節型被覆肥料¹⁾ は、イネの全生育期間に少量ずつ継続的に窒素が供給されるので、一度に施用しても生育初期の過繁茂や生育後期の凋落を防止できる。また、肥料の利用率も高まるので、施肥作業の省力化とともに肥料による環境負荷を著しく軽減できるものと思われる。

本研究では、重窒素トレーサー法を用いて施肥窒素の利用率を測定するとともに施肥窒素のイネの生育、収量の及ぼす影響を検討した。

本試験の結果、ポット苗は葉齢の進みが早かったため、被覆尿素区および慣行施肥区ともに、本田移植後の生育が順調であった。しかし、マット苗・慣行施肥区でみられたような過繁茂の状態には達せず、m² 当たりの最高茎数および穂数はマット苗・慣行施肥区よりも少なかった。ポット苗・被覆尿素区の基肥に施用した被覆尿素肥料の溶出は、生育初期の低温時に少なく、生育旺盛な高温時に多くなり、登熟期まで持続していることが認められた。そのため、ポット苗・被覆尿素区は、同・慣行施肥区に比較して初期生育が劣り、草丈、茎数ともに少なかったが、穂首分化期頃には肥効が高まって生育が旺盛になり、草丈、茎数の差が縮まり、最終的な成熟期には逆転して草丈が高くなり、穂数も多くなった。また、葉緑素計値および乾物重も、施肥窒素の肥効特性をよく反映し、生育初期には劣ったが、分げつ盛期以降は優った。ポット苗・慣行施肥区の m² 当たり最高茎数および穂数がマット苗・慣行施肥区よりも少なかった原因は、ポット苗区はマット苗区に比較して生育初期から草丈および地上部乾物重が優り、生育も進んだため、慣行施肥条件では穂首分化期前後にいたると生育量に対応した窒素の供給がなされなかったためと思われる。このことは、7 月中旬頃における葉緑素計値の著しい低下傾向からも推定された。一方、ポット苗・被覆尿素区は、同・慣行施肥区に比較して、m² 当たり最高茎数は少なかったが、穂首分化期前後の窒素吸収量および葉緑素計値が高く推移して有効茎歩合が高まり、1 穂粒数と m² 当たり穂数が優り、m² 当たり粒数は 12~16% ほど多くなった。

ポット苗区の出穂期は、両年ともマット苗区よりも 2~4 日ほど早まり、登熟期間中の積算温度を多く確保することができたために登熟歩合も高まって収量増となった。施肥窒素の利用率の高い被覆尿素区は、慣行施肥区よりも生殖生長への転換が遅れて

出穂期は、両年ともやや遅れた。しかし、肥効が登熟の中・後期まで持続したために籾数が多いにもかかわらず登熟歩合が低下することなく、最も高い収量となった。

被覆尿素肥料の溶出速度は、温度に依存し、温度係数 $Q_{10} \approx 2$ (温度が 10°C 上がると溶出速度が約 2 倍に、逆に温度が 10°C 下がると溶出速度が約 $1/2$ になる) であり¹⁷⁾、水稻の生育を考えた場合、気温が高くて生育量が多くなる時は、肥料の溶出も多く、気温が低くて生育量が小さい場合は、肥料の溶出も抑えられることを意味し、より地力窒素発現パターンに類似している^{2,3,15,16,17)}。即ち、地温上昇時にイネの生育量の増大に合わせて養分を供給できるように、溶出した養分は大部分イネに吸収され、肥料の利用率が著しく向上する。被覆尿素の窒素の利用率が著しく高いことについては、不耕起直播栽培においても確認して既に報告¹²⁾しているが、本試験における重窒素トレーサー法による施肥窒素の利用率は、ポット苗・被覆尿素区では 1990 年が 68.0%、1991 年が 63.0%と著しく高く、同・慣行施肥区ではそれぞれ 43.3%および 40.6%、マット苗移植・慣行施肥区ではそれぞれ 38.1%および 35.1%と低い値であった。

以上の結果から、被覆尿素肥料の溶出は、地温の上昇に対応して緩やかに持続するために、ポット苗の移植時に全量側条施肥しても徒長をもたらして倒伏することなく、施肥窒素の利用率も高まって高収量となることが明らかになった。ポット苗・被覆尿素区の高収量の要因は、既報^{6,7)}で示したように、生育初期の窒素の発現がおさえられて無効分げつの発生が抑制され、穂首分化期前後から登熟期にかけての施肥窒素の吸収量が増加し、単位面積当たりの光合成能力が増大したためと考えられる。その結果、有効茎歩合が高まって穂数や籾数が増加した割合には登熟度 (登熟歩合 $\times$ 玄米千粒重) の低下がみられなかったことによるものと思われた。

このように、ポット苗移植に対する肥効調節型被覆尿素 (LP-100) の全量基肥栽培は、寒冷地稲作の省力・安定多収とともに環境負荷を著しく軽減させることが期待され、環境に優しい有望な栽培法であると考えられる。

引用文献

1. 藤田利雄 1989. LP コート (被覆肥料) の発明と開

- 発. 東北大学博士論文 1—74.
2. 狩野広美・米山忠克・熊沢喜久男 1974. 発光分光分析法による重窒素の定量について. 土肥誌 45: 549—559.
3. 金野隆光 1980. 土壌中の生物活性と温度. 土壌の物理性 41: 7—16.
4. 小野剛志 1992. LP 一発施肥の生育相 (寒地), 同 (暖地). 農業技術大系, 作物編追録 第 14 号. 農文協, 東京. 技 184: 18—26, 27—35.
5. 佐藤徳雄・渋谷暁一・遊佐健司・酒井 博 1987. 東北大学農学部附属川渡農場における水稻冷害の実態と安定多収を図るための 2・3 の研究・調査事例. 東北大学農学部附属川渡農場報告 3: 43—60.
6. ————・————— 1987. 寒冷地稲作の安定多収に関する研究 — 尿素と被覆尿素的施用効果の比較 —. 日作東北支部報 30: 27—31.
7. ————・—————・三枝正彦・阿部篤郎 1988. 水稻の初期生育促進に対するポット苗移植および側条施肥の効果. 東北大学農学部附属川渡農場報告 4: 5—8.
8. ————・————— 1989. 寒冷地稲作の安定多収に関する研究 — 被覆尿素的元肥と追肥組み合わせによる収量性の比較 —. 日作東北支部報 32: 16—19.
9. ————・—————・三枝正彦・阿部篤郎 1989. 水稻のポット苗移植とマット苗移植に対する側条施肥の効果. 東北大学農学部附属川渡農場報告 5: 9—12.
10. ————・—————・————— 1990. 水稻の生育収量に及ぼす被覆尿素的施肥法と施肥量の影響. 東北大学農学部附属川渡農場報告 6: 43—49.
11. ————・高橋幸一・渋谷暁一・菅野順一 1990. 水稻のポット苗移植栽培の生育収量に及ぼす施肥法, 栽植密度および播種粒数の影響. 東北大学農学部附属川渡農場報告 6: 51—60.
12. ————・渋谷暁一・三枝正彦・阿部篤郎 1993. 肥効調節型被覆尿素を用いた水稻の全量基肥不耕起栽培. 日作紀 62: 408—413.
13. 柴田義彦 1986. 側条施肥のイネづくり. 農文協, 東京. 9—41.
14. Shoji, S. and A. Gandeza 1992. Controlled Release Fertilizers with Polyolefin Resin Coating. Konno Printing Ltd., Sendai, Japan. 43—50.
15. Stanford, G. and S.J. Smith 1972. Nitrogen mineralization potentials of soils. Soil Sci. Am. Proc. 36: 465—472.
16. 杉原 進・金野隆光・石井和夫 1986. 土壌中における有機態窒素無機化の反応速度論的解析法. 農環研報 1: 127—166.
17. 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. 山形農試特別研究報告 22: 62—80.
18. Watt, G.W. and J.D. Chrips 1954. Spectrophotometric method for determination of urea. Anal. Chem. 26: 452—453.