

プール育苗条件での水稻育苗箱全量基肥栽培における育苗箱内施肥量の検討

高橋行継¹⁾・栗田春奈²⁾・柴田一輝¹⁾・戸塚悠介¹⁾・矢口真幸¹⁾

(¹⁾ 宇都宮大学農学部附属農場, ²⁾ 東京農工大学大学院連合農学研究科)

要旨：水稻育苗箱全量基肥技術と水稻疎植栽培は、共に育苗の省力・低コストを狙った栽培技術である。水稻疎植栽培では単位面積あたりに必要な育苗箱数は減るが、その一方で同時に水稻育苗箱全量基肥技術を用いると、育苗箱内の1箱当たりの施肥量を増やす必要性が生じる。しかし、水稻育苗箱全量基肥技術による育苗箱内の施肥量は通常1 kgを超えない範囲とされており、施肥量の上限を見極める必要がある。そこで、水稻育苗箱全量基肥専用肥料「苗箱まかせ」NK301-100を用い、ビニールプール育苗条件下で育苗箱内の肥料投入量を箱当たり600 gから最大2500 gまで変化させて苗の生育やマット強度、移植精度などについて3か年検討した。その結果、育苗期間が概ね3週間程度の条件で、育苗箱内の施肥量は1300 gまでであれば、苗の生育やマット強度、移植精度に実用上の支障がないことが明らかになった。

キーワード：育苗, 育苗箱, 水稻, 全量基肥, 疎植, 肥効調節型肥料, プール育苗。

水稻育苗箱全量基肥栽培（以下、箱全量）は、きわめて溶出制御精度が高い肥効調節型肥料、商品名「苗箱まかせ」（ジェイカムアグリ株式会社製；以下、苗箱専用肥料）を用いて育苗箱内に生育期間に必要な肥料成分を播種時に全量投入し、育苗、移植を行うことにより、本田における追肥も含めた施肥作業の省力と低コスト化を図る技術である（北村・今井 1995, 庄子 1999）。イネの根と肥料との距離がきわめて近い接触施肥によって、苗箱専用肥料の利用効率は従来の化成肥料よりも著しく高い点が大きな特徴である。金田ら（1994）によれば、水稻を供試した箱全量による窒素利用効率は83%に達したとの報告がなされており、減肥が可能であると共に環境への負荷も小さい施肥技術である。寒冷地の東北地方で1990年代に実用化された技術であるが、現在では東北以南の温暖地でも実用化を目指した研究が進んでおり（高橋・吉田 2007）、まだ普及面積は少ないものの省力・低コスト化技術として注目されている。

一方、水稻疎植栽培（以下、疎植）は、移植時の栽植密度を低下させることにより、移植時に必要となる育苗箱数を減少させて省力・低コスト化を目指す技術である（村岡 2010）。現在普及している機械移植技術では条間30 cmが基本とされていることから、栽植密度を変化させる場合には株間を調節することで対応している。研究事例としては株間36 cmとした例もあるが（大野ら 2001）、現地での普及事例では条間と同じ株間30 cmとしている例が多い。

両技術共に省力・低コスト化を目指した技術であるが、これらを同時に導入した場合、疎植に伴う必要育苗箱数の減少によって、箱全量では1箱当たり施肥量が大幅に増加することになる。肥料の標準的な1箱当たり施肥量は10 a当たり25枚使用する場合で400～800 g、同20枚では500～1000 gとされている（注：ジェイカムアグリ株式会社技術資料）。この数値は地域、栽培品種や育苗箱内播種量、

移植時期、土壌の肥沃度などの諸条件によって変動するが、栽植密度を11.1株/m²とした疎植で必要になる育苗箱数は10枚程度である。疎植の場合には単純計算では標準施肥量に対して2倍量程度の肥料が必要になるが、実際には前述のような高い肥料利用効率があることを考慮すれば、そこまでの増肥は不要とも考えられる。しかしながら、箱全量について現在普及している施用量を大幅に増やす技術は、鳥取県の事例（板東 2009, 鳥取県 2009）があるのみで、具体的な検討事例は少ない。

苗箱専用肥料は、育苗期間中の肥料成分溶出を極小に抑えた精密な溶出制御がなされているが、育苗期間内に微量ながら溶出が始まっており、多量の肥料投入によって育苗を始め移植後の生育、収量や品質に影響を及ぼすことが予測される。

特に、本技術の先進地である東北地方よりも育苗期間の気温が高い関東地方では、苗が高温と肥料の溶出過剰によって伸長しやすい。加えてビニールプール育苗（以下、プール育苗）を用いた場合には、基本的に常時湛水条件となるため肥料の溶出過剰に一層の注意を払う必要がある。このように箱全量にとって健苗育成は、栽植密度の条件に関わらず本技術の成否を握る大きな課題である（高橋・吉田 2006）。そこで宇都宮大学農学部附属農場（以下、農場）において、2010年～2012年の3か年にわたって、プール育苗条件で疎植を前提とした育苗箱内多肥条件下での箱全量技術の育苗、本田生育および収量品質等について検討を行った。本報ではこのうち育苗試験に関して報告する。

材料と方法

試験は2010年～2012年の3か年、農場内の育苗ハウス及び露地育苗施設において「コシヒカリ」を供試して実施した。

第1表 試験区の設定概要 (2010).

区名	施肥量 (g/箱)	施肥位置	床土量	覆土量 (g/箱)	合計量
670 g	670	床土上層	1830	1000	2830
1000 g	1000	床土上層	1500	1000	2500
1330 g	1330	床土上層	1170	1000	2170
1670 g 上層	1670	床土上層	830	1000	1830
1670 g 下層	1670	床土下層	830	1000	1830
1670 g 混合	1670	混合	830	1000	1830
2500 g	2500	—	0	1000	1000
培土	0	—	2500	1000	3500

2010 年は育苗箱内施肥量の限界点を探ることを主眼とした。播種は5月6日に実施した。試験区の概要を第1表に示す。現状で最大の施肥量（注：ジェイカムアグリ技術資料）とされる 1000 g/箱を基準とし、その約 1/3 の施肥量を変動幅として増減させた試験区を設定した。育苗箱内の施肥量を 670, 1000, 1330, 1670 g とした 4 つの区と床土を全量肥料とした 2500 g の計 5 つの試験区を設けた。これらの区を順に 670 g, 1000 g, 1330 g, 1670 g, 2500 g 区と称し、以降説明の中で必要に応じてこれらの区を総称して箱全量区とする。施肥位置は床土面の直上に施用する上層施肥とした。床土を全量肥料として培土を使用しなかった 2500 g 区を除いて、2500 g から施肥量を差し引いた分を粒状培土（商品名「水稻粒状培土栃木 1 号（早植用）」、鹿沼産業株式会社製）を用いて投入した。この粒状培土は、育苗箱 1 箱当たりに対する標準的な使用量 4 l に含まれる保証成分が N 1.7 g, P₂O₅ 4.4 g, K₂O 1.8 g である。

試験区のうち 1670 g 区は上層施肥に加えて施肥位置を床土層直下にする下層施肥と、床土と十分に混合した後に育苗箱内に施用する混合施肥を設けた。これらを順に 1670 g 上層区, 1670 g 下層区, 1670 g 混合区と称する。この他に床土と覆土共に粒状培土のみとした培土区を設けた。

供試肥料として苗箱専用肥料（商品名「苗箱まかせ」NK301-100, ジェイカムアグリ株式会社製）を用いた。本苗箱専用肥料は窒素成分として被覆尿素、加里成分は被覆塩化加里を使用、各成分の保証含有率は窒素 30%, 加里 10% で、燐酸は含まれていない。また、水温 25℃ の条件下で肥料成分の 80% が溶出する日数に 100 日を要するタイプである。苗箱専用肥料の初期溶出量はシグモイド、スーパーシグモイドよりも著しく抑えられており、本格的な溶出が始まるまでの 1 か月に溶出する肥料成分は 5% 以内になっている。

覆土には床土と同じ粒状培土を全区で 1000 g 施用した。以上の播種作業は個別に培土、苗箱専用肥料、種子等を事前に計量し、手動式播種機（商品名「みくに式種まき機」、みくに産業株式会社製）を用いて 1 箱ずつ手作業で行った。箱当たり播種量は 100 g（乾籾）とし、各試験区の反復数は 3 とした。育苗箱は全国苗箱規格保証会 NO.1 中苗用を

用いた。出芽は育苗ハウス内で平置き出芽法（山口ら 1991, 大谷ら 2000）を用いた。出芽時の被覆資材には水稻育苗専用シート（商品名「健苗シート」：積水化学株式会社製）を使用し、べたがけとした。出芽長が概ね 1 cm に達した時点で被覆資材を除去、露地プール育苗（飯塚ら 1978, 高橋・吉田 2006）に移行し、育苗完了時まで管理した。プール育苗は基本的に水深 2~3 cm の常時湛水条件とし、毎朝減少した水量を追加する方法とした。

播種後 7 日目に発芽状況の良否、同 14, 21, 28 日目に草丈、葉齢、葉色を 1 反復につき各 30 個体、葉色は 20 個体調査した。出芽の良否は、出芽の早晩を観察による 1~5 段階（早~晩）の相対評価として出芽揃い時に調査した。なお、出芽揃いは育苗箱の覆土表面に 5 mm 程度の不完全葉が 90% 出揃った状態として定義した。草丈と葉齢は育苗箱の周縁部を除き、育苗箱の中央部並びに対角線上の 4 か所付近にある生育中庸な個体を各 6 個体、計 30 個体調査した。葉色は葉緑素計（商品名「SPAD-502」、コニカミノルタセンシング株式会社製）を用い、育苗箱内の対角線上の 4 か所付近にある生育中庸な個体の最上位展開葉の中程を各 5 個体、計 20 個体調査した。

播種後 30 日目（育苗完了時）に苗の最終調査を実施した。地上部乾物重は育苗箱の周縁部を除いた場所から 1 反復あたり任意に 100 個体を採取し、通風乾燥後に重量を測定し、1 個体当たりに換算した。育苗箱裏の出根層は全体を回収して、風乾重を調査した。地下部風乾重は、育苗完了日に 1 反復あたり周縁部を除いた 2 箇所 10 cm 角のマット片を作成し、マット片上の苗個体数を数えた上で地上部を除去、マット片内の培土を十分に洗浄除去、通風乾燥した後に除去しきれなかった苗地上部および培土を完全に取り除いた上で重量を測定し、先に求めたマット片上の苗個体数から 1 個体当たりに換算した。充実度は 1 個体当たりの地上部の合計乾物重 (mg) を草丈 (cm) で除した値として算出した。また、地上部乾物重を地下部乾物重で除して得た数値を地上部 / 地下部比とした。マット強度は育苗箱から苗マットを取り出し、その中央部を 20 × 10 cm の大きさに切り取った。短辺 10 cm の両端を手製の苗クリップを用いて幅約 3 cm を挟んだ。その片方は引っ張り力に耐えら

第2表 試験区の設定概要 (2011).

区名	施肥量 (g/箱)	施肥位置	床土量	覆土量 (g/箱)	合計量
1320 g (疎植)	1320	床土上層	1180	1000	2180
980 g (中間)	980	床土上層	1520	1000	2520
600 g (密植)	600	床土上層	1900	1000	2900
培土	0	—	2500	1000	3500

第3表 試験区の設定概要 (2012).

区名	施肥量 (g/箱)	施肥位置	床土量	覆土量 (g/箱)	合計量
1600 g (疎植)	1600	床土上層	900	1000	1900
980 g (中間)	980	床土上層	1520	1000	2520
730 g (密植)	730	床土上層	1770	1000	2770
培土	0	—	2500	1000	3500

れるように柱にしっかり固定して、もう片方にバネ秤り（商品名「SANKO 手秤」（株）三光精衡所製，最大秤量 10 kg），2012 年はデジタルフォースゲージ（機種名 FGN-100HB，SHIMPO CORPORATION 製）を取り付けてゆっくりと引っ張った．マット片が中央部付近で断裂した時点の引っ張り強度をマット強度（kgf）とし，N に換算した．以上の測定方法は農業生産工学会（1992）を参考にした．

2011 年は 4 月 26 日に播種を行った．初年度の結果から実用化可能と判断された施肥量を基に移植を想定した 3 つの試験区を設定した．これらの区を順に 1320 g（疎植），980 g（中間），600 g（密植）区と称する（第 2 表）．設定栽植密度はそれぞれ 11.1，18.1，24.2 株/m²とし，場内慣行栽培コシヒカリの標準的な基肥量 N 0.6 kg/a に追肥 N 0.2 kg/a を含む本田投入 N 量 0.8 kg/a の 50% 減から箱当たり施肥量を算出した．また，粒状培土のみの区を培土区（栽植密度は 980 g（中間）区に準ずる）として設けた．既報（高橋ら 2009）から本技術による適正な減肥率は 40% 前後であり，50% では年次によって収量の安定性に課題のあることが明らかになっているが，本年は極力育苗箱内の施肥量を少なく抑えるために試行的に 50% 減を採用した．施肥位置は上層施肥とした．

播種後 6，13，20 日目に生育調査を実施した．移植は 5 月 19 日（播種後 23 日目）に疎植対応機種の乗用型 6 条田植機（商品名「さなえ」TZ60，イセキ農機株式会社製，2012 年試験と同一機種）により行い，翌日に欠株等の移植精度を調査した．移植精度は各区につき平均的な移植精度の連続 20 株を 2 条，計 40 株の 2 か所調査とし，計 80 株を調査した．苗の移植状況を正常，欠株，浮き苗，転び苗，埋没苗に分類し，1 株当たりの植付本数と移植深度を測定した．欠株は所定の植え付け位置に苗がない状態，浮き苗とは株自体は移植されているものの，植付深さがごく浅く，根が完全に露出した状態，転び苗は田面に対する移植角度

が 45 度以上の株，埋没苗は苗が草丈の半分以上地中にある株と定義した．苗の地上部並びに地下部乾物重，育苗箱裏面の出根層風乾重，マット強度等の最終調査は移植精度調査後に実施した．

2012 年は 4 月 24 日に播種を行った．試験区として育苗箱内の施肥量を 1600，980，730 g の 3 水準とした．各試験区を 1600 g（疎植），980 g（中間），730 g（密植）区と称する．また，粒状培土のみの区を培土区（栽植密度は 980 g（中間）区に準ずる）として設けた．設定栽植密度はそれぞれ 11.1，18.1，24.2 株/m²とした．2011 年の結果から 50% 減肥では収量が不足気味であったことから，基肥 N 0.6 kg/a に追肥 N 0.2 kg/a を含む本田投入 N 量 0.8 kg/a の 40% 減として箱当たり施肥量を算出した．以上の試験区概要を第 3 表に示す．播種後 14，21 日目に生育調査を実施した．移植は 5 月 17 日（播種後 23 日目）に疎植対応機種の乗用型 6 条田植機により行い，翌日に欠株等の移植精度を疎植区と培土区について実施した．なお，980 g（中間），730 g（密植）区は育苗試験のみ実施したため，本田移植は行っていない．苗の移植状況を正常，欠株，浮き苗，乱苗，埋没苗に分類し，移植深度を測定した．乱苗とは同一移植株内の苗の植え付け深度が揃わずに 2 cm 以上の差がある状態と定義した．苗の地上部並びに地下部乾物重，育苗箱裏面の出根層風乾重，マット強度等の最終調査は移植精度調査後に実施した．

結 果

2010 年の試験結果を第 4 表および第 5 表に示した．出芽は施肥量の多い 1670 g 上層，1670 g 下層，1670 g 混合区と 2500 g 区でその他の区より遅れた（第 4 表）．草丈は播種後 14 日目調査では培土区の 9.1 cm に対して 2500 g 区は 6.2 cm，1330 g 区は 7.1 cm となり有意に低くなった．同 21 日目調査では培土区の 12.8 cm に対して 670 g 区から

第4表 異なる育苗箱施肥量が水稻苗の地上部生育に及ぼす影響 (2010)。

区名	出芽良否 (1-5)	播種後 14 日目			播種後 21 日目			播種後 28 日目		
		草丈 (cm)	葉齢	葉色 (SPAD)	草丈 (cm)	葉齢	葉色 (SPAD)	草丈 (cm)	葉齢	葉色 (SPAD)
670 g	1	8.8 ^a	3.1 ^a	33.8 ^b	14.7 ^b	4.1 ^a	37.7 ^{ab}	34.2 ^{ab}	5.1 ^a	32.3 ^{ab}
1000 g	1	8.3 ^a	3.0 ^a	34.7 ^a	15.3 ^{ab}	4.1 ^a	37.1 ^{bc}	35.8 ^a	5.1 ^a	32.8 ^{ab}
1330 g	1	7.1 ^b	3.0 ^a	34.6 ^{ab}	14.5 ^b	4.2 ^a	39.3 ^{ab}	33.5 ^{ab}	5.1 ^a	33.0 ^a
1670 g 上層	3	9.0 ^a	3.1 ^a	34.4 ^{ab}	15.5 ^{ab}	4.2 ^a	39.4 ^a	32.8 ^b	5.2 ^a	31.2 ^{bc}
1670 g 下層	3	8.9 ^a	3.2 ^a	35.6 ^a	16.3 ^a	4.2 ^a	39.2 ^{ab}	34.0 ^{ab}	5.1 ^a	30.3 ^{cb}
1670 g 混合	3	8.7 ^a	3.1 ^a	35.8 ^a	16.0 ^a	4.2 ^a	39.1 ^{ab}	34.3 ^{ab}	5.2 ^a	31.6 ^{abc}
2500 g	4	6.2 ^c	3.1 ^a	30.7 ^c	12.0 ^d	4.0 ^a	35.9 ^c	22.2 ^c	5.0 ^a	26.3 ^d
培土	1	9.1 ^a	3.1 ^a	31.2 ^c	12.8 ^c	4.0 ^a	31.3 ^d	20.2 ^d	4.4 ^b	23.2 ^e

出芽の良否は播種後 7 日目に観察による 1 (良)~5 (不良) の 5 段階評価。葉色は葉緑素計 SPAD-502 による測定値。数値右側の英小文字は Tukey の多重検定により、5%水準で同一文字間には有意な差がないことを示す。

第5表 異なる育苗箱施肥量が地下部生育および苗質に及ぼす影響 (2010)。

区名	充実度 (mg/cm)	地上部乾物重 (mg/ 本)	地下部乾物重 (mg/ 本)	地上部 / 地下部比	箱裏面出根乾物重 (g)	マット強度 (N)
670 g	0.93 ^b	31.8 ^a	6.4 ^{ab}	5.5 ^{ab}	8.5 ^b	31.3 ^b
1000 g	0.74 ^b	26.6 ^a	5.7 ^{ab}	4.7 ^{ab}	6.8 ^{bcd}	28.4 ^{bc}
1330 g	0.86 ^b	28.6 ^a	7.0 ^a	4.6 ^{ab}	5.5 ^{cd}	22.5 ^{cd}
1670 g 上層	0.85 ^b	27.8 ^a	4.2 ^b	7.0 ^a	6.9 ^{bcd}	21.6 ^{cd}
1670 g 下層	0.78 ^b	26.4 ^a	6.2 ^{ab}	4.2 ^{ab}	5.0 ^d	17.6 ^d
1670 g 混合	0.88 ^b	30.0 ^a	6.8 ^a	4.5 ^{ab}	7.5 ^{bc}	17.6 ^d
2500 g	1.33 ^a	29.3 ^a	4.4 ^b	6.9 ^a	2.5 ^e	8.8 ^e
培土	1.10 ^a	22.2 ^b	6.7 ^{ab}	3.4 ^b	13.5 ^a	43.1 ^a

充実度は地上部乾物重/草丈。箱裏面乾物重は育苗箱裏全面の数値。マット強度は育苗箱から地上部を除去した 20×10 cm の苗マット片を作成し、長辺方向に対する引っ張り強度。数値右側の英小文字は Tukey の多重検定により、5%水準で同一文字間には有意な差がないことを示す。

1670 g 混合区までは 14.5 cm~16.3 cm となり、有意に高くなった。2500 g 区は 12.0 cm で最も低くなった。同 28 日目調査では 2500 g 区の草丈は 22.2 cm で培土区の 20.2 cm に次いで低くなった。670 g 区から 1670 g 混合区までの草丈は 32.8~35.8 cm となり、14 日目以降 21 日目調査の間に急激に伸長した。これらの区の箱内施肥量は 670 g から 1670 g まで 1000 g の差があったが、草丈は有意な差が認められた区が一部にあったものの、差は最大 3.0 cm であった。葉齢は調査を通じて差はほとんど認められなかったが、同 28 日目に培土区 4.4 に対してそれ以外の区で 5.0~5.2 となり、有意な差が生じた。葉色は播種後 14 日目に 670 g 区から 1670 g 上層、1670 g 下層、1670 g 混合区までと 2500 g 区、培土区との間に有意な差が認められ、2500 g 区と培土区がそれぞれ 30.7、31.2 であったのに対し、670 g 区から 1670 g 上層、1670 g 下層、1670 g 混合区までは 33.8~35.8 であった。この傾向は同 21 日目と 28 日目調査でもほぼ同様の傾向を示した。同 21 日目と 28 日目の調査では 2500 g 区と培土区との間にも有意な差が認められた。2500 g 区では他区にはみられなかった白化苗が発生し、

葉色は 3 回の調査を通じて 670 g 区から 1670 g 上層、1670 g 下層、1670 g 混合区までの葉色よりも同 21 日目の 1000 g 区を除いて有意に低くなった。

充実度は 2500 g 区と培土区で 1.33 mg/cm と 1.10 mg/cm となり、いずれも 1.0 mg/cm を下回った 670 g 区から 1670 g 混合区に対して有意な差が認められた (第 5 表)。地上部乾物重は培土区が最小の 22.2 mg/ 本となり、箱全量区との間に有意な差が生じた。地下部乾物重は明らかな傾向を見いだせなかった。箱裏面出根乾物重は培土区が最大の 13.5 g/ 箱を示し、箱全量区を有意に上回った。一方、2500 g 区は 2.5 g/ 箱で最も小さくなった。マット強度は培土区が最大で 43.1 N を示した (第 5 表)。育苗箱内の施肥量増加に伴い、マット強度は徐々に低下する傾向を示し、670 g 区は 31.3 N であったが、2500 g 区では 8.8 N しかなかった。

2011 年の生育調査結果を第 6 表と第 7 表に示した。出芽は 1320 g (疎植) 区で 3 となり、980 g (中間) 区など他区よりも揃いが遅れた (第 6 表)。播種後 6 日目の草丈は 1320 g (疎植) 区が 1.4 cm で 980 g (中間)、600 g (密植)

第6表 異なる育苗箱施肥量が水稻苗の地上部生育に及ぼす影響 (2011).

区名	播種後6日目			播種後13日目			播種後20日目		
	出芽良否 (1-5)	草丈 (cm)	葉齢	草丈 (cm)	葉齢	葉色 (SPAD)	草丈 (cm)	葉齢	葉色 (SPAD)
1320 g (疎植)	3 ^a	1.4 ^{ba}	3.0 ^b	10.0 ^b	2.8 ^a	27.8 ^a	14.3 ^a	3.3 ^a	33.7 ^a
980 g (中間)	1 ^b	1.7 ^a	3.8 ^a	11.2 ^a	2.9 ^a	28.8 ^a	14.5 ^a	3.3 ^a	32.7 ^a
600 g (密植)	1 ^b	1.7 ^a	3.9 ^a	10.5 ^{ab}	2.9 ^a	29.1 ^a	13.6 ^a	3.3 ^a	32.1 ^a
培土	1 ^b	1.5 ^{ab}	3.4 ^a	11.0 ^{ab}	2.9 ^a	27.8 ^a	14.3 ^a	3.2 ^a	30.1 ^b

出芽の良否は播種後6日目に観察による1(良)~5(不良)の5段階評価. 葉色は葉緑素計 SPAD-502 による測定値. 数値右側の英小文字は Tukey の多重検定により, 5%水準で同一文字間には有意な差がないことを示す.

第7表 異なる育苗箱施肥量が地下部生育および苗質に及ぼす影響 (2011: 移植翌日調査).

区名	充実度 (mg/cm)	地上部乾物重 (mg/本)	地下部乾物重 (mg/本)	地上部/地下部比	箱裏面出根乾物重 (g/箱)	マット強度 (N)
1320 g (疎植)	1.7 ^a	24.7 ^a	4.0 ^b	6.2 ^a	5.0 ^a	28.0 ^a
980 g (中間)	1.7 ^a	24.2 ^a	4.2 ^b	5.8 ^a	6.0 ^a	42.2 ^a
600 g (密植)	1.6 ^a	21.9 ^a	5.1 ^b	4.3 ^{ab}	2.3 ^b	53.5 ^a
培土	1.5 ^a	20.6 ^a	7.0 ^a	2.9 ^b	0.8 ^c	58.9 ^a

充実度は地上部乾物重/草丈. 箱裏面乾物重は育苗箱裏全面の数値. マット強度は育苗箱から地上部を除去した 20×10 cm の苗マット片を作成し, 長片方向に対する引っ張り強度. 数値右側の英小文字は Tukey の多重検定により, 5%水準で同一文字間には有意な差がないことを示す.

第8表 異なる育苗箱施肥量が移植精度に及ぼす影響 (2011).

区名	植付深さ (cm)	植付本数 (本/株)	(%)			
			欠株	浮苗	転苗	埋没
1320 g (疎植)	2.1 ^b	3.3 ^a	3.6 ^a	1.3 ^{ab}	1.3 ^b	0.0 ^a
980 g (中間)	2.4 ^a	3.2 ^a	1.3 ^{ab}	2.2 ^a	1.5 ^b	0.6 ^a
600 g (密植)	2.5 ^a	3.4 ^a	2.2 ^{ab}	0.7 ^{ab}	4.2 ^a	0.3 ^a
培土	2.3 ^{ab}	3.3 ^a	0.7 ^b	0.2 ^b	0.2 ^b	0.0 ^a

調査は各試験区を1か所40株, 2か所計80株調査. 3反復で合計240株調査. 数値右側の英小文字は Tukey の多重検定により, 5%水準で同一文字間には有意な差がないことを示す.

区の1.7 cm に対して有意に低かった. 葉齢も草丈と同様の傾向を示し, 1320 g (疎植) 区は3.0, 980 g (中間), 600 g (密植) 区ではそれぞれ3.8, 3.9となり, 1320 g (疎植) 区は培土区の3.4も含めたこれらの区に対して有意に少なかった. 同13日目調査では1320 g (疎植) 区の草丈は10.0 cm となり, 980 g (中間) 区の11.2 cm に対しては低かったものの, その他の区との間に有意な差はなかった. 葉齢は2.8~2.9を示し, 葉色は600 g (密植) 区が最高の29.1, 1320 g (疎植) 区と培土区で最小の27.8となったが, 共に各試験区間の有意差は認められなかった. 同20日目調査では草丈が980 g (中間) 区の14.5 cm が最高, 最低は600 g (密植) 区の13.6 cm であったが, 有意な差はなかった. 葉齢は3.2~3.3で草丈と共に試験区間の有意な差はなかった. 葉色は1320 g (疎植), 980 g (中間), 600 g (密植) 区は32.1~33.7で若干の差はみられたものの有意ではなく, 培土区が30.1で先述の

3つの区に対して有意に低くなった.

充実度, 地上部乾物重には有意な差はなく, 地下部乾物重は培土区の7.0 mg/本に対して1320 g (疎植), 980 g (中間), 600 g (密植) 区では4.0~5.1 mg/本となり, 有意に低下した(第7表). 地上部/地下部比は1320 g (疎植) 6.2, 980 g (中間) 区5.8と培土区2.9との間に有意な差が認められた. 箱裏面出根乾物重は980 g (中間) 区が最大の6.0 g/箱を示し, 1320 g (疎植) 区と共に600 g (密植) 区の2.3 g/箱を有意に上回った. また, 培土区は0.8 g/箱で最も小さくなった. マット強度は培土区の58.9 N に対して1320 g (疎植), 980 g (中間), 600 g (密植) 区ではそれぞれ28.0, 42.2, 53.5 N となり, 箱内施肥量の増加につれて低下したが, 有意な差はなかった.

移植精度の調査結果を第8表に示した. 植付深さは1320 g (疎植) 区が2.1 cm で980 g (中間), 600 g (密植) 区の2.4, 2.5 cm に対して浅く, 培土区の2.3 cm を含め試

第9表 異なる育苗箱施肥量が水稻苗の地上部生育に及ぼす影響 (2012).

区名	出芽	播種後 14 日目			播種後 21 日目		
	良否 (1-5)	草丈 (cm)	葉齡	葉色	草丈 (cm)	葉齡	葉色
1600 g (疎植)	2 ^a	11.9 ^{ab}	3.0 ^a	30.9 ^{ab}	15.9 ^a	3.3 ^a	31.2 ^a
980 g (中間)	1 ^b	12.7 ^{ab}	3.1 ^a	31.3 ^{ab}	15.8 ^a	3.4 ^a	32.7 ^a
730 g (密植)	1 ^b	12.8 ^{ab}	3.1 ^a	31.1 ^{ab}	15.8 ^a	3.4 ^a	31.1 ^a
培土	1 ^b	10.2 ^b	3.0 ^a	29.6 ^b	11.2 ^b	3.3 ^a	28.2 ^b

出芽の良否は播種後6日目に観察による1(早)~5(晩)の5段階評価. 葉色は葉緑素計 SPAD-502 による測定値. 数値右側の英小文字は Tukey の多重検定により, 5%水準で同一文字間には有意な差がないことを示す

第10表 異なる育苗箱施肥量が地下部生育および苗質に及ぼす影響 (2012: 移植翌日調査).

区名	充実度 (mg/cm)	地上部乾物重 (mg/ 本)	地下部乾物重 (mg/ 本)	地上部 / 地下部比	箱裏面出根乾物重 (g/ 箱)	マット強度 (N)
1600 g (疎植)	1.2 ^a	19.2 ^a	4.5 ^b	4.2 ^a	1.0 ^b	22.5 ^b
980 g (中間)	1.3 ^a	20.1 ^a	4.6 ^b	4.4 ^a	1.1 ^b	23.4 ^b
730 g (密植)	1.4 ^a	21.3 ^a	4.7 ^b	4.5 ^a	1.5 ^a	21.9 ^b
培土	1.6 ^a	18.4 ^a	8.0 ^a	2.3 ^b	0.2 ^c	41.5 ^a

充実度は地上部乾物重/草丈. 箱裏面乾物重は育苗箱裏全面の数値. マット強度は育苗箱から地上部を除去した 20×10 cm の苗マット片を作成し, 長片方向に対する引っ張り強度. 数値右側の英小文字は Tukey の多重検定により, 5%水準で同一文字間には有意な差がないことを示す.

第11表 異なる育苗箱施肥量が移植精度に及ぼす影響 (2012).

区名	植付深さ (cm)	欠株	浮苗	乱苗	1 本苗	埋没
		(%)				
1600 g (疎植)	2.5	14.6	0.9	2.5*	11.2	0.0
培土	2.4	5.8	0.4	0.0	8.4	0.0

調査は各試験区を1か所40株, 2か所計80株調査. 3反復で合計240株調査. 疎植区各数値右側の*印は慣行区に対してt検定により5%水準で有意であることを示す.

験区全体で最も浅かったが, 実用的には問題がない差であった. 植付本数には差がなく, 3.2~3.4本/株の範囲であった. 欠株率は培土区が最も低く0.7%, 1320g(疎植)区は3.6%で最も高くなった. 浮苗の発生率は980g(中間)区が最も高く, 2.2%, 転苗の発生率は600g(密植)区が最も高く4.2%, 埋没苗の発生率は全体的に低く, 有意な差はなかった. 総じて培土区に対して箱全量の各区で移植精度がやや低くなる傾向を示した.

2012年の調査結果を第9表, 第10表に示した. 出芽良否は1600g(疎植)区で2となり, 他区よりも揃いが遅れた. 播種後14日目調査では730g(密植)区の草丈は12.8cmとなり, 980g(中間)区と1600g(疎植)区の12.7cm, 11.9cmに対して有意な差はなかったものの, 培土区10.2cmとの間に有意な差が生じた(第9表). 葉齡は3.0~3.1を示し, 葉色は980g(中間)区が最高の31.3, 培土区で最低の29.6となり, この両者間で有意差が認められた. 同21日目は草丈が1600g(疎植)区, 980g(中間)区, 730g(密植)区の15.8~15.9cmに対して培土区が11.2cmとなり有意に低くなった. 葉齡は3.3~3.4で有

意な差はなく, 葉色は1600g(疎植)区, 980g(中間)区, 730g(密植)区で31.1~32.7で若干の差はみられたものの有意ではなく, 培土区が28.2で先述の3つの区に対して有意に低くなった.

充実度, 地上部乾物重には有意な差はなく, 地下部乾物重は培土区の8.0mg/本に対して1600g(疎植)区, 980g(中間)区, 730g(密植)区では4.5~4.7mg/本となり, 有意に低下した(第10表). 地上部/地下部比は1600g(疎植)区4.2, 980g(中間)区4.4, 730g(密植)区4.5と培土区2.3との間に有意な差が認められた. 箱裏面出根乾物重は730g(密植)区が最大の1.5g/箱を示し, 1600g(疎植)区, 980g(中間)区の1.0, 1.1g/箱を上回った. また, 培土区は0.2g/箱で最も小さくなった. マット強度は培土区の41.5Nに対して1600g(疎植)区, 980g(中間)区, 730g(密植)区ではそれぞれ22.5, 23.4, 21.9Nとなり, 各々培土区に対して有意な差が認められた.

移植精度の調査結果を第11表に示した. 植付深さは1600g(疎植)区が2.5cmで培土区の2.4cmとほぼ同等

であった。欠株率は培土区で5.8%, 1600 g (疎植) 区が14.6%と高かったが有意な差ではなかった。浮苗の発生率には差がなく、乱苗の発生率は1600 g (疎植) 区が2.5%で培土区の0.0%に対して有意に高く、1本苗の発生率は1600 g (疎植) 区が11.2%で培土区の8.4%を上回ったが、有意な差はなかった。埋没苗の発生はなかった。総じて2012年は2011年より移植精度が大きく低下する傾向にあった。

考 察

2010年は、箱全量における健苗育成に支障がない苗箱専用肥料の上限値を明らかにすることを目的に、苗の生育とマット強度を判断材料として試験を実施した。

その結果、1670 g 上層, 1670 g 下層, 1670 g 混合区と床土全量を肥料にした2500 g 区では、出芽揃いが670 g, 1000 g, 1330 g 区および培土区に対して遅れ、2500 g 区で顕著であった(第4表)。本研究に用いた平置き出芽法(山口ら1991)によるべたがけ出芽では、播種作業後出芽揃いまでは灌水作業を行わなくても、育苗箱内の水分が不足するようなことは通常発生しない。今回の1670 g 上層, 1670 g 下層, 1670 g 混合区と2500 g 区では肥料の増加に伴い、覆土を含む培土総量が培土区対比で1670 g 上層, 1670 g 下層, 1670 g 混合の各区は52%, 2500 g 区では29%まで減少し、保水力のない苗箱専用肥料が増加した結果、育苗箱内の水分量が不足したために出芽が遅延したものと考えられる。

2500 g 区は出芽揃い後も地上部の生育は抑制気味であった。育苗完了時の箱裏面出根量は2.5 g ときわめて少なかったが、その分マット内の根量が多くなったわけではなく、マット内地下部の乾物重も4.4 g と少なかった。地上部/地下部比が6.9と高く、地上部に対して地下部の生育が抑制されていたことを示していた。マット強度は8.8 Nにとどまり、マットはほとんど形成されていなかった。2500 g 区は床土部分を全量苗箱専用肥料とした極端な試験区設計であったことが大きな要因であるが、機械移植は明らかに困難であると考えられる。

板東(2009)、鳥取県(2009)の報告ではN400-100タイプを1550 g 施用している。この供試肥料は被覆尿素を40%含み、燐酸と加里成分は含まない肥料であり、水温25℃、100日間で肥料成分の80%が溶出する。坂東(2009)、鳥取県(2009)では箱内の施肥位置を育苗箱内の最下部層状とすることで、実用上問題がない苗を育成可能であるとしている。1670 g 上層, 1670 g 下層, 1670 g 混合区は施肥量を前出の報告よりやや多くして、育苗箱内でそれぞれ異なる施肥位置にした検討を行ったものである。標準施肥量とされる500~1000 g/箱より施肥量が大幅に増加したことで床土量が少なくなり、施肥位置変更による箱内肥料の分布状況に差が生じにくかったためか、苗の生育に有意差は認められなかった。

本研究では3か年間を通じて出芽揃い以降の育苗をプール育苗で行った。マット強度に関するデータは、筆者らの水稻育苗に関連した既往の研究(高橋2003, 高橋・吉田2006, 高橋・吉田2007)でも示されているが、4~5か月に及ぶ本田栽培とは異なり、育苗は1か月程度の短期間であることから、気象条件等の影響を受けやすく、マット強度は年次間変動が大きくなる傾向がある。

移植時に必要となるマット強度は、高橋ら(2004)により30 N以上が望ましいとされている。その一方で30 Nの1/2である15 Nまでであれば、苗取り板を使用して田植機に苗マットをセットすることができ、移植作業は可能であったと報告している。実際の機械移植作業では育苗箱から苗マットの取り出しと移植機への搭載を円滑に行うため、マット強度の大小に関わらず苗取り板を利用することが多い。このため、マット強度が多少不足していても、作業には大きな支障はないと判断し、先述のマット強度の最低水準として15 Nが導かれている。しかしながら、マット強度が十分でない場合には通常よりも慎重にマットを取り扱う必要があり、作業時間の遅延などの作業性低下につながる可能性もある。このことから、3か年の試験期間におけるマット強度の年次変動を考慮しつつ、本研究では苗取り板が不要なマット強度30 Nの2/3に相当する20 N以上を機械移植にほぼ支障がないマット強度の基準として実用面での評価を行った。

その結果、2010年は30 Nを確保できたのは培土と670 g 区のみであった(第5表)。それ以外では1000 g 区, 1330 g 区と1670 g 上層区で先に示した20 Nを上回ったことから、移植作業可能なマット強度が得られたと判断した。さらに前述の苗の出芽、生育状況等を勘案して、1330 g までの施肥量であれば十分に実用可能であると評価した。

2011年と2012年は2010年の結果を参考に、移植を考慮した施肥量で試験区を設計、実施した。本研究の目的から2011年の1320 g (疎植) 区と2012年の1600 g (疎植) 区を中心に考察する。

2011年は減肥率を50%とした1320 g (疎植) 区で出芽が他の箱全量区より遅れ気味であった。草丈も出芽の遅れが影響して移植後13日目調査の時点までやや低く推移した(第6表)。施肥量は異なるものの、2010年の1670 g 上層, 1670 g 下層, 1670 g 混合区並びに2500 g 区と同様の要因であると考えられる。その後の生育は他の箱全量区と何ら遜色はなく、地上部の生育面からの問題点はなかった。マット強度は最も低い1320 g (疎植) 区でも28.0 Nあり、30 Nよりもわずかに低かったものの、移植作業において苗の取り出し状況を始め、作業上の支障はなく、本研究におけるマット強度の基準に合致した(第7表)。

移植精度は箱全量各区で慣行区より劣る傾向にあり、欠株率は最大となった疎1320 g (疎植) 区で3.6%であった。渡邊ら(2009)、西山(1984)によれば欠株率5%までは減収しないとされており、特に問題がある欠株率ではなかつ

た。以上の結果から、疎植を前提とした箱全量の育苗箱内施肥量は概ね 1300 g であれば地上部並びに地下部共に育苗面で大きな問題はなく、移植作業や移植精度においても特に支障はないことが明らかになった。

2012 年は減肥率を 40% へ見直したため、施肥量が増加した 1600 g (疎植) 区で出芽、初期生育が他の箱全量区よりやや遅れたが、育苗完了時には 980 g (中間) 区や 730 g (密植) 区と遜色ない生育を示した。1600 g (疎植) 区における出芽や初期生育の遅れは、過去 2 か年の試験と同様の理由によるものと考えられる。マット強度は施肥量による差はなかったが、22~23 N にとどまった (第 10 表)。このため、マットの取り出しを苗取り板で丁寧に対処する必要はあったが、実用面で問題はなく、マット強度の基準の範囲内であった。

移植精度調査の結果、1600 g (疎植) 区は培土区より劣る傾向にあった。特に今回新たに調査項目とした乱苗は 2.5% と培土区の 0.0% に対して有意な差が認められ、掻き取りに問題のあることが明らかになった (第 11 表)。乱苗や 1 本苗が多く発生した要因として、培土区対比で 1/2 程度にまで低下したマット強度や、粒状培土とは形状や性質が大きく異なる育苗専用肥料が混在したマットであること等が考えられ、移植機の掻き取り爪でマット片を上手に掻き取りしにくい要因になったものと推察される。欠株率は 1600 g (疎植) 区で 14.6% に達する高い値となったが、培土区も 5.8% に達しており、試験圃場全体の移植精度が低く、有意差もなかった。本研究に限らず移植精度は苗、とりわけマット形成の良否 (強度) のほか、圃場の植代掻き作業の良否に伴う土壌条件、移植機械の調整など様々な要因が絡み、年次変動がみられる。培土区に対する 1600 g (疎植) 区の欠株率の比率をみると 2.5 倍で、2011 年の 5.1 倍より低くなっており、同一圃場試験の中で 1600 g (疎植) 区の移植精度がきわめて低いとはいえない状況だった。これらの点を考慮して、欠株率は許容できる範囲内であると判断した。

筆者らは 2010 年から 2012 年の 3 か年間、群馬県館林市現地圃場でも 6 月上旬移植であさひの夢を供試して、ほぼ同様の試験設計で検討を行っている。現地試験のため、本報のような詳細な育苗調査並びに移植精度調査は実施していないが、マット強度の著しい低下等で移植作業に支障をきたすことはなかった (高橋ら 2011, 2012, 2013)。3 か年の結果から、箱内施肥量が概ね 1300 g の範囲まではマット強度低下による移植作業への大きな支障はないものと判断をした。

総合的に判断すると、1600 g 施肥は移植作業自体は可能であるものの、圃場や年次によって出芽の遅れ、マット強度の低下や欠株、乱苗の増加等が認められ、実用化技術として不安定な要素が認められる。施肥量を減少させた 1300 g 施肥であれば、実用面での大きな問題はないと考えられる。今後より普及性の高い技術にするためには移植精度の

向上は大きな課題であり、そのためにはマット強度向上を図ることが育苗面から望ましい。

その方策の一つとして、板東 (2009)、鳥取県 (2009) が供試した肥料成分含有率の高い育苗専用肥料 N400-100 タイプを用いる方法が考えられる。このタイプによる育苗および本田生育上の問題は、筆者らの 10 数年にわたる研究でも確認されていない (高橋・吉田 2006, 2007)。疎植栽培で本研究と同様の施肥設計とした場合、この変更によって施肥量は 1600 g/箱から 1200 g/箱となり、箱当たり 400 g 減量可能になる。培土量の増加による苗の出芽・生育、マット強度の向上が期待できると考えられ、今後の検討課題である。

なお、今回は育苗試験のみの結果を報告したが、本田移植後の生育・収量については別途報告する。

謝辞：本研究の実施にあたり、播種作業や育苗管理に際して宇都宮大学農学部附属農場の技術職員塩沢敏夫、齋藤栄三郎、関口真司、森島規仁の各氏に多大なるご協力をいただいた。育苗調査にあたっては宇都宮大学農学部生物生産科学科作物栽培学研究室の高橋美羽、稲川尚美、大谷智巳氏、同土壌学研究室の荒井崇、西嶋文花、梅田健也、菊地友太氏にご協力いただいた。試験肥料サンプルはジェイカムアグリ株式会社関東支店の徳留浩喜氏ならびに中澤豊氏から快く提供をいただいた。また、論文とりまとめに際しては、同社の入月利徳氏並びにイセキ農機株式会社の雑賀正人氏から貴重なご助言をいただいた。これらの皆様に対して深甚な謝意を表する。

引用文献

- 板東悟 2009. 育苗箱全量施肥栽培 (箱底施用) と疎植の組み合わせ。農業技術大系, 追録第 31 号, 技 488 の 120-125, 農文協, 東京。
- 飯塚国夫・金井博・島田忠男 1978. 水稲機械移植用箱苗の簡易育苗法。農及園 53: 687-688。
- 金田吉弘・栗崎弘利・村井隆 1994. 肥効調節型肥料を用いた育苗箱全量基肥による水稲不耕起移植栽培。土肥誌 65: 385-391。
- 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—水稲の全量施肥技術—。土肥誌 66: 71-79。
- 村岡賢一 2010. 生産者所得の向上に向けた疎植栽培の向上を探る。グリーンレポート 488: 16-17。
- 西山岩男 1984. 補植をしない稲作のすすめ。農及園 61: 59-61。
- 農業生産工学研究会 1992. 乳苗稲作の実用化成績試験概要。6-8。
- 大野隆・杉山英治・川崎哲郎 2001. 水稲疎植栽培が省力・低コスト化に及ぼす影響。愛媛農試報 36: 1-5。
- 大谷和彦・菊池清人・山口正篤 2000. 新育苗箱を使用した水稲育苗の軽労化。日作関東支報 15: 14-15。
- 庄子貞雄 1999. 環境保全型農業における新肥料の活用。研究ジャーナル 22: 6-11。
- 高橋行継 2003. プール育苗における新育苗箱の適応性。日作紀 72: 19-24。
- 高橋行継・佐藤泰史・加部武・栗原清・阿部邑美・吉田智彦 2004. 水稲育苗箱の培土減量による軽量・低コスト化に関する検討。日作紀 73: 389-395。

- 高橋行継・吉田智彦 2006. 群馬県二毛作地帯における水稻育苗箱全量基肥栽培のプール育苗法に関する検討. 日作紀 75: 119-125.
- 高橋行継・吉田智彦 2007. 群馬県における水稻育苗箱全量基肥栽培の熔成厩肥覆土および育苗期間の延長に関する検討. 日作紀 76: 370-378.
- 高橋行継・塚田耕一・星野未奈美 2009. 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 8 報). 日作紀 78 (別 1): 128-129.
- 高橋行継・雑賀正人・塚田耕一・星野未奈美 2011. 水稻育苗箱全量基肥栽培条件における疎植栽培が生育・収量に及ぼす影響 (第 2 報). 日作紀 80 (別 1): 284-285.
- 高橋行継・戸塚悠介・雑賀正人 2012. 水稻育苗箱全量基肥栽培条件における疎植栽培が生育・収量に及ぼす影響 (第 4 報). 日作紀 81 (別 1): 6-7.
- 高橋行継・雑賀正人・塚田耕一 2013. 水稻育苗箱全量基肥栽培条件における疎植栽培が生育・収量に及ぼす影響 (第 5 報). 日作紀 82 (別 1): 48-49.
- 鳥取県農林総合研究所 2009. 育苗箱全量基肥と疎植を組み合わせた米づくり. 農業試験場成果情報 2009-7.
- 渡邊肇・佐々木倫太郎・関口進・鈴木和美・三枝正彦 2009. 異なる栽培法による欠株が水稻の生育・収量に及ぼす影響. 日作紀 78: 95-99.
- 山口正篤・青木岳央・福島敏和 1991. 水稻の平置き出芽法における温度管理. 日作関東支報 6: 19-20.

Effect of the Amount of Fertilizer Used for Basal Dressing of Whole Fertilizer in the Nursery Box for Cultivating Paddy Rice by the Pool Raising Method : Yukitsugu TAKAHASHI¹⁾, Haruna KURITA²⁾, Kazuki SHIBATA¹⁾, Yusuke TOTSUKA¹⁾ and Mayuki YAGUCHI¹⁾
(¹⁾Research Farm, Fac. of Agr., Utsunomiya Univ., ²⁾Grad. Sch. of Agri. Sci. Tokyo Univ. of Agr. and Tech.)

Abstract : Cultivation of paddy rice by applying whole fertilizer as basal dressing in the nursery box and sparse planting are low cost and labor saving cultivation techniques. The number of nursery boxes per unit area can be reduced by sparse planting. But, the amount of fertilizer per nursery box must be increased when combined with application of whole fertilizer as basal dressing. However, the amount of fertilizer used for application of whole fertilizer as basal dressing to the nursery box is usually less than 1 kg, and it is necessary to determine the upper limit of the amount of fertilizer that can be used in sparse planting. Therefore, using the pool raising method, we applied “Naebako-makase” (NK301-100) as whole fertilizer as basal dressing, at the ratio of 600 g to 2500 g per nursery box, and examined the growth of seedlings, seedling mat strength, and planting accuracy in the paddy field for 3 years. As a result, seedling growth, seedling mat strength, and planting accuracy were scarcely influenced by the amount of fertilizer within 1300 g per nursery box.

Key words : A controlled availability of fertilizer, Application of single whole fertilizer as basal dressing, Nursery box, Paddy rice, Pool raising seedling, Raising seedling, Sparse planting.