

水稲コシヒカリの全量基肥栽培における生育特性の解明

森 聖二

摘要 : 水稲コシヒカリの窒素肥料の種類を, 速効性: LP コートシグモイド 100 日型: LP コートSシグモイド 100 日型 = 1:1:1とした全量基肥栽培では, 慣行分施栽培に比べて, 最高分けつ期の茎数が少なく, 出穂前 20 日の葉色は濃いという生育特性がある. 出穂前 20 日での葉色 (SPAD 値) × 茎数値が 13400 ~ 14700 のとき, 適正な生育を示し, 目標収量 (540 ~ 600kg/10a) が得られる. また, 玄米中の窒素濃度は慣行分施栽培に比べて低く, 葉色 × 茎数の適正値を下回る場合に追肥を行うと, 玄米中の窒素濃度を増加させずに目標収量を確保できる.

キーワード : 水稲, 全量基肥, 緩効性肥料, 生育特性, 窒素濃度

Analysis of the growth characteristics of paddy rice 'Koshihikari' under cultivation with a sole application of basal fertilizer

Seiji MORI

Summary : Growth characteristics of paddy rice 'Koshihikari' cultured with a single application of basal fertilizer only was analyzed. When a single application of the basal fertilizer only was given in a composition of 'quick-acting fertilizer' : 'LP-coated Sigmoid 100 Days Type' : 'LP-coated S Sigmoid 100 Days Type' = 1 : 1 : 1, the number of stalks in the stage of maximal tillering was smaller and the leaf color 20 days before heading was deeper than those observed in rice cultured with separate applications of fertilizer as generally practiced. The growth was optimal and the target yield (540 - 600 kg/10a) was obtained when the 'leaf color 20 days before heading (SPAD value)' x 'number of stalks' was in a range of 13400 - 14700. The nitrogen content in the unpolished husked rice obtained by the culture with a single basal fertilizer application was lower than that obtained by the generally-used method of separate fertilizer applications. When the value of 'leaf color' x 'number of stalks' was lower than the optimal range, the target yield could be achieved without an increase in nitrogen content in unpolished rice by an application of topdressing.

Key words : paddy rice, single application of basal fertilizer, slow-fertilizer, growth characteristics, nitrogen content

I 緒言

我が国では、1995年に新食糧法が制定され、米流通に市場原理が取り入れられ高品質で良食味の米が求められている。農業の担い手は高齢化し、後継者不足が深刻となっており、生産者の兼業化も進んでいる。一方、大規模な米作経営農家も生まれており、今後益々の農地集積が進むと予測されている。ゆえに、これまで以上の米の生産における低コストで省力化技術の確立が必要となってきている。

本県では水稻の生育診断技術が開発され、追肥に利用されているが、大規模化や他の作業競合、兼業化などにより、水稻追肥が適期に行われていない場合もある。また、本県では、肥効調節型肥料による穂肥1回施用が奨励されているが、追肥作業は夏期高温時での作業であるため、労働負荷が大きく、さらなる省力化への期待が持たれている。また、農地から地下水や河川、湖沼に流出する肥料成分などの負荷量を少なくすることが求められている。

以上のように、水稻の生産において、省力的で、低コスト、環境保全的な栽培技術が求められており、その一つの解決法として、全量基肥栽培があげられる。

水稻の全量基肥栽培に関しては、種々の試験研究例があり、全量基肥肥料に含まれる被覆尿素からは、水稻の養分吸収パターンに応じて、少量ずつ養分が供給されるため、肥料成分の利用率が向上し^{1, 8, 11)}、施肥量の削減が可能となる^{4, 10)}。また、肥料成分が農地以外の環境へ流出することが軽減され、施肥による環境への負荷が少なくなる⁸⁾。さらに、被覆肥料はさまざまな溶出タイプが開発され、溶出の精度が高められたことから、その地域や品種、作型に適したタイプを選択できるようになった。また、被覆肥料からの窒素の溶出は、地温に依存するという性質から、気象条件が変化した場合でも、水稻の吸収パターンに溶出のパターンがある程度適合できる³⁾という利点もある。

栃木農試では、早植水稻の全量基肥栽培に関する試験を1991年から行い、被覆肥料の種類や配合割合を検討してきた。県中部用の被覆肥料としてLPコートシグモイド100日型を配合し、慣行施肥に比べ減肥が可能で、収量は増加することや、その増収要因を明らかにした¹⁰⁾。また、県南、県北、普通植および側条施肥用の全量基肥肥料を開発し、県内全域の作型、施肥法に対応した全量基肥栽培を可能にした。

本県的水稻の全量基肥肥料は1995年から販売され、1997年から水稻の窒素吸収経過に肥料の溶出をさらに

適合させるため、被覆肥料をLPコートシグモイド100日型とLPコートSシグモイド100日型の等量配合とした。全量基肥肥料の普及率は年々増加し、肥料の出荷量から2002年度で早植えコシヒカリの21.7%と算出されている。しかし、全量基肥栽培の水稻の生育経過は、慣行分施肥と異なり、特に葉色の経過が特異的で生産者が困惑することが問題となる。そのため、本試験では、最適な生育特性を明らかにした。また、全量基肥栽培では慣行分施肥に比べ減肥するとしているが、全量基肥栽培を最初に導入したときに、ほ場の地力によっては生育が小さい場合がある。それに対応する技術として、全量基肥栽培の生育診断値を設定したので報告する。

II 試験方法

1. 栽培試験

1999年から2001年に栃木農試水田ほ場で、コシヒカ리를供試品種として栽培試験した。土壌は厚層多腐植質多湿黒ボク土であり、その化学性を第1表に示した。このほ場には土壌改良のための肥料として毎年ようりんを200kg/10a施用している。しかし、施肥試験を行っているほ場であるため、土壌の地力を比較的高めないように堆肥などの有機物は施用していない。そのため、土壌中の交換性K₂Oなどが少ない。試験規模は1区28.8m²で、処理区の構成を第2表に示した。全量基肥に用いた肥料には速効性肥料と被覆肥料が含まれ、速効性肥料として塩化アンモニウムを、被覆肥料としてLPコートシグモイド100日型（以下LPS100と略す）とLPコートSシグモイド100日型（以下LPSS100と略す）を配合した。その窒素成分の割合は、速効性：LPS100：LPSS100 = 1：1：1である。この全量基肥用肥料は栃木県内で販売され、普及している肥料である。第2表のように、慣行分施肥区の窒素施肥量は基肥3.5kg/10a、追肥2.0+2.0kg/10aの合計7.5kg/10aとし、全量基肥の標準区の窒素施肥量は慣行分施肥の2割減の6.0kg/10a施肥とした。その標準区を基準として、2割減区、4割減区および6割減区を設け、2割増区、4割増区（1999年、2000年）、6割増区（2001年）を設定した。2000年と2001年には全量基肥栽培での生育の小さい場合の対応として、全量基肥の全区に追肥する区を設けた。全区ともに、リン酸を15kg/10a、加里を10kg/10a施肥した。1999年の施肥は5月6日で移植は5月12日であった。2000年の施肥は5月2日で、移植は5月10日であった。2001年は、施肥を5月1日とし、移植を5月9日とした。慣行分施肥区および全量基肥区の追肥区では、出穂

第1表 栽培前土壌の化学性

| pH | T-C | T-N | CEC | 可給態N | Truog-P ₂ O ₅ | 交換性塩基(mg/100g) | | | 可給態SiO ₂ |
|-----|-----|------|----------|---------|-------------------------------------|----------------|-----|------------------|---------------------|
| | % | % | meq/100g | mg/100g | mg/100g | CaO | MgO | K ₂ O | mg/100g |
| 6.4 | 9.2 | 0.50 | 42.9 | 8.6 | 6.4 | 817 | 158 | 17 | 48.5 |

第2表 栽培試験での窒素施肥量(成分kg/10a)

| 処理区 | 基肥 | | | 追肥 ^{*2)} | | 計 | |
|-------|--------------------|--------|---------|-------------------|--------------------------------|-----|------|
| | 塩安 | LPS100 | LPSS100 | 塩安 | 追肥無 | 追肥有 | |
| ①全量 | 6割増 ^{*1)} | 3.2 | 3.2 | 3.2 | } × { 0.0 または 2.0+2.0 | 9.6 | 13.6 |
| ② " | 2割増 | 2.4 | 2.4 | 2.4 | | 7.2 | 11.2 |
| ③ " | 標準 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | | 6.0 | 10.0 |
| ④ " | 2割減 | 1.6 | 1.6 | 1.6 | | 4.8 | 8.8 |
| ⑤ " | 4割減 | 1.2 | 1.2 | 1.2 | | 3.6 | 7.6 |
| ⑥ " | 6割減 | 0.8 | 0.8 | 0.8 | | 2.4 | 6.4 |
| ⑦慣行分施 | | 3.5 | | | 2.0+2.0 | | 7.5 |
| ⑧無窒素 | | | | | | | |

*1)1999年と2000年は6割増ではなく、4割増で行った。

*2)1999年は全量基肥区での追肥は行わなかった。

18日前と出穂1～3日後に窒素成分で2 kg/10a ずつの追肥をした。最高分け時期、出穂前20日および出穂期に、茎数や葉色、草丈、乾物重を調査した。それとともに、稲株を抜き取り、乾燥・粉碎後、ケルダール法によって窒素吸収量を測定した。また、成熟期に1区につき40株を2カ所刈り取り、収量、収量構成要素および窒素吸収量を調査した。

2. 全量基肥栽培における生育の適正值および生育診断値の計算

栽培試験で得られた水稻の生育や収量、収量構成要素、窒素吸収量などから、全量基肥栽培での最適な総粒数を計算した。その総粒数と生育や収量構成要素、窒素吸収量の関係から全量基肥栽培における生育の適正值を計算した。また、全量基肥区の追肥試験結果から、生育の小さい場合の、追肥の有効性と生育診断の時期を検討した。

3. 被覆肥料からの窒素溶出量測定

被覆肥料のLPS100およびLPSS100それぞれ2gと水田ほ場の土80gを混合し寒冷紗で包んで、栽培ほ場へ施肥時に埋設した。1999年は10日間間隔で、2000年および2001年は1週間間隔で取り出し、陰干し後、肥料中に残存する窒素量をケルダール法で測定した。

また、LPS100ならびにLPSS100の1gを試験管の蒸留水中に入れ、20、25、30℃の定温器中で24週間培養した。その間最初の1ヶ月は1週間毎に、その後は2週間毎に取り出し、肥料の残存窒素をケルダール法で測定した。

III 結果

1. 生育、収量および玄米中窒素含有率

3年間の試験の水稻の生育を第3、5、7表に、収量および窒素吸収を第4、6、8表に示した。全量基肥区の葉色および茎数の値はともに、施肥量が多くなるにしたがい大きくなった。その傾向は出穂前20日の葉色で顕著に表れた。また、収量も、おおよそ施肥量の増加に伴って増加し、1穂粒数や穂数などの収量構成要素の値が大きくなった。全量基肥区の生育途中での茎数は、慣行分施肥区に比べて少ないが、成熟期の穂数は同程度になった。また、葉色は、慣行分施肥区では出穂前20日頃の追肥時期に淡くなるが、全量基肥区では慣行分施肥区に比べ淡くならず、葉色の変化は小さかった。全量基肥の標準区と慣行分施肥区の葉色は、出穂期ではその差は小さくなった。このように、全量基肥栽培では、生育期間中の茎数と葉色が慣行分施肥区と異なるパターンを示した。

全量基肥区の草丈は、施肥量の増大とともに高くなったが、成熟期での標準区の稈長は慣行分施肥区と同等か若干高かった。倒伏程度は、全量基肥区では施肥量を多くするとわずかながら大きくなったが、標準区と慣行分施肥区では同等で小さかった。

全量基肥標準区の収量は、慣行分施肥区に比べ同程度か増大し、その要因として1穂粒数が増加し、総粒数が多くなったことがあげられる。

見かけの施肥窒素利用率は、全量基肥栽培の中では標準区が高く、施肥量が多くても少なくとも低下した。また、標準区は慣行分施肥区よりも高かった。

食味に係る玄米窒素含有率は、慣行分施肥区に比べ 区と同等か低かった。
 全量基肥区では低く、全量基肥区の増肥区でも慣行分施

第3表 水稻の生育(1999年)

| 処理区 | 茎数 本/m ² | | | 葉色 SPAD ^{*3} | | | 草丈 cm | | | | |
|--------|---------------------|-------------------|-----|-----------------------|------|-----|-------|------|-----|------|------|
| | MAX ^{*1} | -20 ^{*2} | 出穂 | MAX | -20 | 出穂 | MAX | -20 | 出穂 | 稈長 | 穂長 |
| | 6/29 | 7/13 | 8/3 | 6/29 | 7/13 | 8/3 | 6/29 | 7/13 | 8/3 | 9/13 | 9/13 |
| 全量 4割増 | 537 | 480 | 384 | 33 | 30 | 32 | 58 | 68 | 107 | 87 | 20 |
| 2割増 | 597 | 572 | 369 | 33 | 29 | 31 | 58 | 68 | 104 | 87 | 19 |
| 標準 | 454 | 443 | 336 | 32 | 29 | 31 | 55 | 66 | 104 | 85 | 19 |
| 2割減 | 469 | 439 | 328 | 32 | 28 | 30 | 54 | 65 | 99 | 84 | 19 |
| 4割減 | 443 | 400 | 328 | 32 | 28 | 29 | 54 | 64 | 98 | 82 | 19 |
| 6割減 | 428 | 406 | 299 | 31 | 27 | 29 | 52 | 62 | 96 | 78 | 19 |
| 慣行分施 | 581 | 523 | 366 | 33 | 27 | 30 | 59 | 68 | 102 | 84 | 19 |
| 無窒素 | 377 | 359 | 282 | 30 | 26 | 27 | 50 | 59 | 88 | 74 | 18 |

*1)MAX:最高分け時期 *2)-20:出穂前20日

*3)葉色はミノルタの葉色計SPAD-502で、完全展開最上位葉を測定した

第4表 水稻の収量および窒素吸収(1999年)

| 処理区 | 精玄米重 ^{*1} kg/10a | 同左比 水分14.5% | 総粒数 100粒/m ² | 穂数 本/m ² | 一穂 粒数 | 倒伏程度 0~5 | 窒素吸収量見かけの ^{*2} | | 玄米中 窒素含有率 % |
|--------|------------------------------|----------------|----------------------------|------------------------|----------|-------------|-------------------------|--------------|-------------------|
| | | | | | | | kg/10a | 施肥窒素 利用率% | |
| | | | | | | | 窒素吸収量 | 窒素含有率 | |
| 全量 4割増 | 594 | 108 | 330 | 367 | 90.0 | 2.3 | 15.2 | 87.0 | 1.30 |
| 2割増 | 568 | 104 | 310 | 360 | 86.0 | 1.5 | 13.3 | 75.8 | 1.28 |
| 標準 | 547 | 100 | 298 | 326 | 91.5 | 1.1 | 13.1 | 87.3 | 1.28 |
| 2割減 | 501 | 92 | 266 | 304 | 87.5 | 0.8 | 11.3 | 72.4 | 1.22 |
| 4割減 | 475 | 87 | 244 | 301 | 81.2 | 0.4 | 11.0 | 88.7 | 1.18 |
| 6割減 | 420 | 77 | 215 | 286 | 75.3 | 0.1 | 9.9 | 85.7 | 1.18 |
| 慣行分施 | 547 | 100 | 277 | 360 | 76.9 | 0.5 | 13.9 | 80.7 | 1.31 |
| 無窒素 | 331 | 60 | 171 | 256 | 66.9 | 0.0 | 7.8 | | 1.15 |

*1)成熟期:9/13

*2)見かけの施肥窒素利用率=

(各試験区の窒素吸収量-無窒素区の窒素吸収量) / 各試験区の窒素施肥量 × 100

第5表 水稻の生育(2000年)

| 処理区 | 茎数 本/m ² | | | 葉色 SPAD | | | 草丈 cm | | | | |
|--------|---------------------|------|-----|---------|------|-----|-------|------|-----|-----|-----|
| | MAX | -20 | 出穂期 | MAX | -20 | 出穂期 | MAX | -20 | 出穂 | 稈長 | 穂長 |
| | 6/29 | 7/11 | 8/1 | 6/29 | 7/11 | 8/1 | 6/29 | 7/11 | 8/1 | 9/4 | 9/4 |
| 全量 4割増 | 537 | 501 | 378 | 34 | 31 | 35 | 57 | 76 | 100 | 82 | 19 |
| 2割増 | 493 | 474 | 333 | 34 | 30 | 34 | 57 | 73 | 99 | 81 | 18 |
| 標準 | 518 | 471 | 363 | 35 | 30 | 35 | 57 | 74 | 98 | 82 | 19 |
| 2割減 | 457 | 417 | 348 | 33 | 29 | 33 | 55 | 74 | 98 | 79 | 18 |
| 4割減 | 406 | 385 | 297 | 33 | 28 | 33 | 55 | 72 | 96 | 79 | 18 |
| 6割減 | 388 | 384 | 312 | 33 | 27 | 32 | 52 | 70 | 92 | 76 | 18 |
| 慣行分施 | 562 | 509 | 378 | 33 | 27 | 34 | 56 | 71 | 98 | 80 | 18 |
| 無窒素 | 333 | 333 | 264 | 32 | 26 | 32 | 49 | 67 | 89 | 72 | 18 |

第6表 水稻の収量および窒素吸収(2000年)

| 処理区 | 精玄米重 kg/10a | 同左比 水分14.5% | 総粒数 100粒/m ² | 穂数 本/m ² | 一穂 粒数 | 倒伏程度 0~5 | 窒素吸収量 | | 見かけの 施肥窒素 利用率% | 玄米中 窒素含有率 % |
|--------|----------------|----------------|----------------------------|------------------------|----------|-------------|--------|-------|----------------------|-------------------|
| | | | | | | | kg/10a | 窒素含有率 | | |
| | | | | | | | 窒素吸収量 | 窒素含有率 | | |
| 全量 4割増 | 532 | 104 | 266 | 330 | 81.0 | 1.0 | 9.3 | 40.9 | 1.25 | |
| 2割増 | 544 | 107 | 269 | 307 | 87.9 | 0.5 | 9.0 | 44.2 | 1.24 | |
| 標準 | 532 | 104 | 272 | 323 | 84.1 | 0.2 | 9.5 | 60.4 | 1.21 | |
| 2割減 | 494 | 97 | 251 | 306 | 82.6 | 0.0 | 8.0 | 45.5 | 1.16 | |
| 4割減 | 451 | 88 | 232 | 271 | 85.5 | 0.0 | 7.3 | 41.2 | 1.16 | |
| 6割減 | 427 | 84 | 216 | 267 | 81.0 | 0.0 | 6.7 | 34.0 | 1.08 | |
| 慣行分施 | 510 | 100 | 254 | 336 | 75.8 | 0.3 | 9.4 | 47.6 | 1.25 | |
| 無窒素 | 366 | 72 | 185 | 237 | 78.2 | 0.0 | 5.9 | | 1.10 | |

*)成熟期:9/4

第7表 水稻の生育、収量および窒素吸収(2001年)

| 処理区 | 茎数 本/m ² | | | 葉色 SPAD | | | 草丈 cm | | | | | |
|-----|---------------------|------|-----|---------|------|-----|-------|------|-----|-----|-----|----|
| | MAX | -20 | 出穂期 | MAX | -20 | 出穂期 | MAX | -20 | 出穂 | 稈長 | 穂長 | |
| | 6/27 | 7/10 | 8/1 | 6/27 | 7/10 | 8/1 | 6/27 | 7/10 | 8/1 | 9/9 | 9/9 | |
| 全量 | 6割増 | 589 | 541 | 426 | 38 | 33 | 36 | 59 | 81 | 102 | 88 | 20 |
| | 2割増 | 507 | 486 | 381 | 36 | 32 | 36 | 58 | 79 | 102 | 89 | 20 |
| | 標準 | 527 | 486 | 424 | 36 | 31 | 34 | 58 | 78 | 98 | 87 | 19 |
| | 2割減 | 518 | 489 | 417 | 36 | 30 | 34 | 56 | 77 | 97 | 85 | 19 |
| | 4割減 | 479 | 439 | 424 | 35 | 29 | 33 | 56 | 76 | 93 | 83 | 18 |
| | 6割減 | 440 | 398 | 333 | 35 | 29 | 32 | 55 | 74 | 90 | 82 | 19 |
| | 慣行分施 | 553 | 501 | 448 | 34 | 27 | 34 | 56 | 73 | 94 | 82 | 19 |
| | 無窒素 | 391 | 349 | 305 | 33 | 27 | 30 | 53 | 70 | 83 | 77 | 17 |

第8表 水稻の収量および窒素吸収(2001年)

| 処理区 | 精玄米重 kg/10a 水分14.5% | 同左比 | 総粒数 100粒/m ² | 穂数 本/m ² | 一穂粒数 | 倒伏程度 0~5 | 窒素吸収量 kg/10a | 見かけの 施肥窒素 利用率% | 窒素含有率 % | 玄米中 窒素含有率 % | | | | | | | | | | | |
|-----|---------------------------|-----|----------------------------|------------------------|------|-------------|-----------------|----------------------|------------|-------------------|----|-----|-----|-----|-----|-----|------|-----|------|------|------|
| | | | | | | | | | | | 全量 | 6割増 | 690 | 131 | 349 | 368 | 95.0 | 0.8 | 12.1 | 66.9 | 1.32 |
| | | | | | | | | | | | | 2割増 | 650 | 123 | 332 | 332 | 99.7 | 0.5 | 10.6 | 68.1 | 1.29 |
| | 標準 | 605 | 115 | 301 | 354 | 85.0 | 0.5 | 9.9 | 69.1 | 1.26 | | | | | | | | | | | |
| | 2割減 | 602 | 114 | 296 | 359 | 82.3 | 0.3 | 9.7 | 83.9 | 1.25 | | | | | | | | | | | |
| | 4割減 | 556 | 106 | 276 | 322 | 85.5 | 0.2 | 8.8 | 85.8 | 1.19 | | | | | | | | | | | |
| | 6割減 | 488 | 93 | 241 | 274 | 87.7 | 0.0 | 7.3 | 63.9 | 1.13 | | | | | | | | | | | |
| | 慣行分施 | 526 | 100 | 256 | 339 | 75.7 | 0.4 | 9.8 | 54.9 | 1.36 | | | | | | | | | | | |
| | 無窒素 | 391 | 74 | 197 | 258 | 76.6 | 0.0 | 5.7 | | 1.11 | | | | | | | | | | | |

*)成熟期:9/9

2. 全量基肥栽培における生育の適正值

3年間で得られた試験結果から、総粒数と収量は正の相関があり ($y = 1.77x + 42.6$ $r=0.972$ **), 全量基肥栽培において目標とする収量を慣行分施程度の 540 ~ 600kg/10a とすると、目標とする総粒数は、281 ~ 315 × 100 粒/m² と計算できた。最適な総粒数の計算にあたって、登熟歩合や千粒重、倒伏程度、玄米窒素含有率などを考慮したが(第10表の回帰式および相関係数)、いずれも負の要因とはならなかった。そのため、収量との関係で総粒数の目標値を設定した。

目標とする総粒数を 281 ~ 315 × 100 粒/m² として、全量基肥栽培における生育の適正值を計算し第9表に、収量構成要素の適正值と玄米窒素含有率を第10表に示した。全量基肥栽培の生育パターンと慣行分施の平均を比べると、全量基肥栽培の茎数は最高分けつ期で少なく、その後その差は小さくなり穂数は同様であった。葉色は、慣行分施では追肥時期の出穂前20日に淡くなるが、全量基肥ではそれに比べ濃く推移した。全量基肥栽培の草丈は出穂期頃から成熟期にかけて若干高くなった。乾物重は、生育初期で若干小さい傾向であるが、出穂期以降大きくなる傾向であった。窒素含有率および窒素吸収量については、ほとんど慣行分施との差は無かった。

慣行分施の総粒数の平均値は 263 × 100 粒/m² であっ

た。全量基肥栽培における収量構成要素の適正值を慣行分施の平均値と比べると、全量基肥栽培では一穂粒数が多くなった。玄米窒素含有率は慣行分施に比べ低かった。倒伏程度はわずかながら大きかったが、最大でも1.0と問題ではなかった。

3. 追肥の有無と生育診断値の設定

全量基肥栽培を導入し始めた時に、そのほ場に適した施肥量がわからず、施肥量が少なく生育量が小さくなる場合がある。そのような時の、過渡的な対応策として、追肥の有効性を検討した。

第1図に最高分けつ期および出穂前20日における葉色×茎数と玄米窒素含有率または収量の関係を示し、追肥の有効性と追肥を行う場合の生育診断値を検討した。第9表の生育の適正值を第1図中に示した。出穂前20日の葉色×茎数値で生育適正值を下回る場合に追肥をすると、葉色×茎数値が低いほど収量の増加量が多かった。玄米中の窒素含有率は増加したが、栃木県の黒ボク土の上限値としている1.45%付近にとどまった。葉色×茎数値が生育適正值内にある場合に追肥をすると、収量は増加するが、玄米中の窒素含有率が上限を大幅に越えて高くなり、食味に影響する。最高分けつ期で生育適正值を下回る場合に追肥をすると、玄米中の窒素含有率が上限値を大幅に超える場合が多かったことから、生育診断

第9表 全量基肥栽培における生育の適正值 (H11~H13の結果から計算)

(目標収量:540~600(kg/10a)、総粒数:281~315(×100粒/m²))

| 要素(y) | 生育ステージ | 回帰式(総粒数:x) | 相関係数 | 適正值 | 慣行分施平均 |
|------------------------|--------|-----------------------|----------|---------------|--------|
| 草丈 (cm) | 最高分げつ期 | y = 0.0512x + 41.7 | 0.871 ** | 56.1 ~ 57.9 | 57.2 |
| | 出穂前20日 | y = 0.0638x + 52.9 | 0.543 ** | 70.9 ~ 73.0 | 70.7 |
| | 出穂期 | y = 0.100x + 71.2 | 0.846 ** | 99.4 ~ 102.8 | 97.8 |
| | 成熟期 | y = 0.0998x + 74.6 | 0.949 ** | 102.6 ~ 106.0 | 100.5 |
| 茎数 (本/m ²) | 最高分げつ期 | y = 1.07x + 188 | 0.746 ** | 488 ~ 524 | 565 |
| | 出穂前20日 | y = 0.979x + 181 | 0.722 ** | 456 ~ 489 | 511 |
| | 出穂期 | y = 0.722x + 156 | 0.741 ** | 359 ~ 384 | 397 |
| 葉色 (SPAD) *1 | 最高分げつ期 | y = 0.0238x + 26.9 | 0.648 ** | 33.6 ~ 34.4 | 33.1 |
| | 出穂前20日 | y = 0.0286x + 21.1 | 0.836 ** | 29.2 ~ 30.2 | 26.9 |
| | 出穂期 | y = 0.0291x + 24.1 | 0.595 ** | 32.2 ~ 33.2 | 32.6 |
| 葉色 (SPAD) × 茎数 | 最高分げつ期 | y = 46.1x + 3458 | 0.813 ** | 16400 ~ 18000 | 18700 |
| | 出穂前20日 | y = 40.1x + 2101 | 0.823 ** | 13400 ~ 14700 | 13800 |
| | 出穂期 | y = 32.8x + 2421 | 0.762 ** | 11600 ~ 12800 | 12900 |
| 乾物重 (kg/10a) | 最高分げつ期 | y = 0.774x - 8.00 | 0.860 ** | 210 ~ 236 | 263 |
| | 出穂前20日 | y = 1.37x + 6.38 | 0.706 ** | 393 ~ 439 | 458 |
| | 出穂期 | y = 2.02x + 240 | 0.814 ** | 807 ~ 875 | 823 |
| | 成熟期 | y = 3.63x + 161 | 0.986 ** | 1181 ~ 1305 | 1198 |
| 地上部窒素含有率 (%) | 最高分げつ期 | y = 0.000639x + 1.46 | 0.120 | 1.6 ~ 1.7 | 1.6 |
| | 出穂前20日 | y = 0.000909x + 0.957 | 0.405 ** | 1.2 ~ 1.2 | 1.1 |
| | 出穂期 | y = 0.00123x + 0.585 | 0.635 ** | 0.9 ~ 1.0 | 0.9 |
| 窒素吸収量 (kg/10a) | 最高分げつ期 | y = 0.0136x - 0.409 | 0.724 ** | 3.4 ~ 3.9 | 4.2 |
| | 出穂前20日 | y = 0.0194x - 0.715 | 0.801 ** | 4.7 ~ 5.4 | 4.8 |
| | 出穂期 | y = 0.0271x - 0.0759 | 0.849 ** | 7.5 ~ 8.5 | 7.4 |
| | 成熟期 | y = 0.0402x - 0.524 | 0.785 ** | 10.8 ~ 12.1 | 11.1 |

*) **: 1%有意

*1) 葉色はミノルタの葉色計SPAD-502で測定

第10表 全量基肥栽培における収量構成要素の適正值と玄米窒素含有率

(目標収量:540~600kg/10a、総粒数:281~315×100粒/m²)

| 要素(y) | 単位 | 回帰式(x:総粒数) | 相関係数 | 適正值 | 慣行分施平均 |
|---------|------------------|----------------------|-----------|-------------|--------|
| 穂数 | 本/m ² | y = 0.743x + 116 | 0.913 ** | 325 ~ 350 | 345 |
| 一穂粒数 | | y = 0.124x + 51.2 | 0.805 ** | 86.2 ~ 90.4 | 76.1 |
| 千粒重 | g | y = 0.00316x + 21.0 | 0.435 ** | 21.9 ~ 22.0 | 22.3 |
| 登熟歩合 | % | y = -0.0387x + 99.0 | -0.612 ** | 88.1 ~ 86.8 | 90.3 |
| 倒伏程度 | 0~5 | y = 0.00863x - 1.69 | 0.694 ** | 0.7 ~ 1.0 | 0.4 |
| 玄米中窒素濃度 | % | y = 0.00122x + 0.889 | 0.730 ** | 1.23 ~ 1.27 | 1.31 |

*) 慣行分施平均の総粒数263×100粒/m²、収量527kg/10a

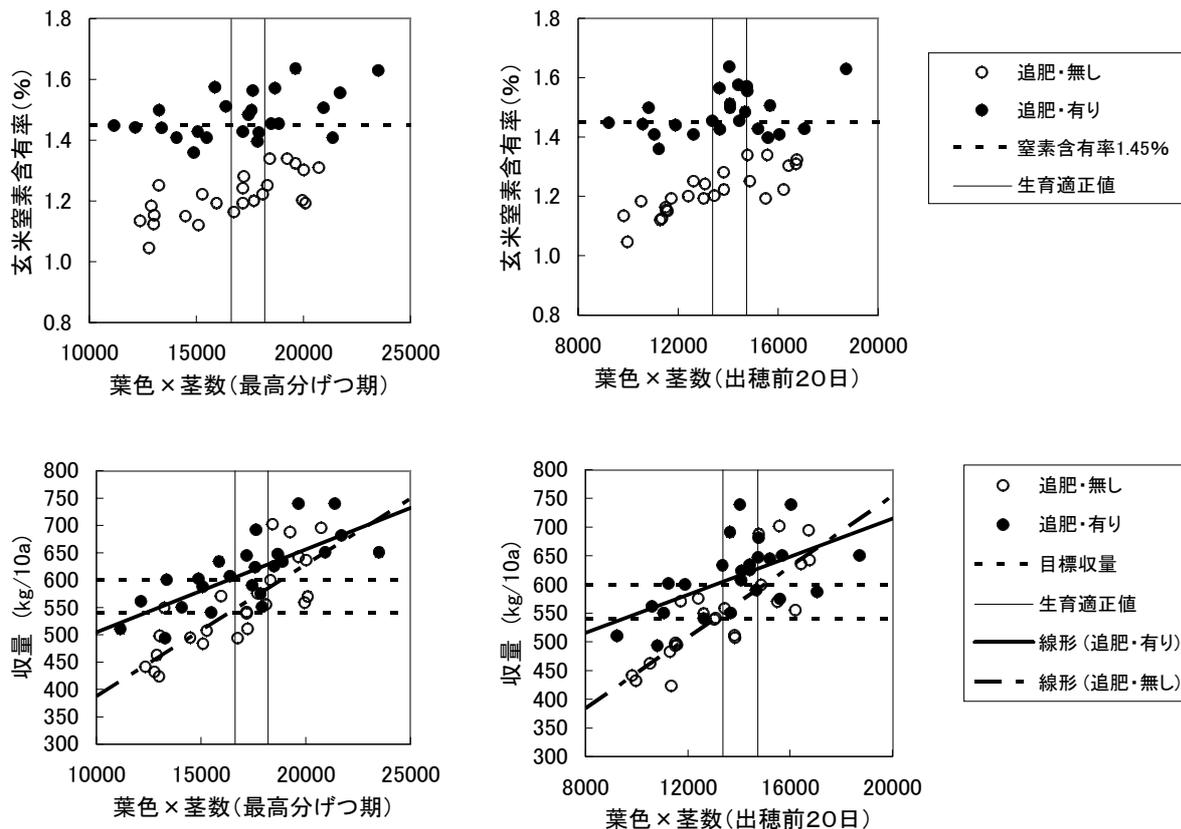
時期としては、出穂前 20 日が適切であった。このことから、出穂前 20 日での葉色×茎数値 (13400 ~ 14700) を生育診断値とし、それを下回った時の追肥の有効性が確認できた。これによって、全量基肥栽培導入時などで、生育の小さい場合には追肥で対応できる。

4. 被覆肥料からの窒素溶出

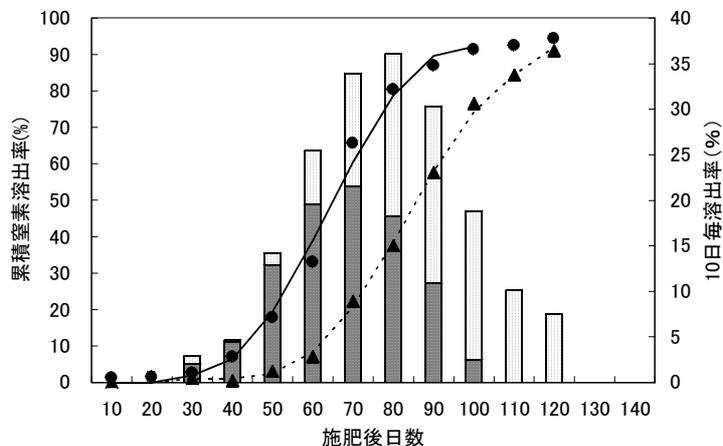
被覆肥料からの窒素溶出経過を、1999 年について第 2 図に、3 年間の結果をまとめて第 11 表に示した。溶出量および溶出期間は、多項式近似曲線 (6 次式) によって求めた。1999 年の溶出抑制期間 (10 %溶出までの期間) は LPS100 で 43 日、LPSS100 で 62 日であり、80 %溶出するまでに、LPS100 では 81 日、LPSS100 では

105 日かかった。2000 年では、溶出抑制期間は LPS100 で 42 日、LPSS100 で 55 日であり、80 %溶出するまでに LPS100 で 84 日、LPSS100 で 102 日の期間であった。2001 年では、溶出抑制期間は LPS100 で 46 日、LPSS100 で 58 日であり、80 %の溶出は LPS100 で 82 日、LPSS100 で 116 日後であった。

それぞれの計算結果から、LPS100 と LPSS100 を 1 : 1 に配合すると、出穂前 20 日での溶出率は、1999 年で 37 %、2000 年で 42 %、2001 年で 42 %であり、平均すると 40 %であった。また、出穂期では、1999 年で 71 %、2000 年で 71 %、2001 年で 67 %溶出しており、その平均は 70 %であった。



第1図 最高分げつ期および出穂前20日における葉色 × 莖数と玄米窒素含有率または収量の関係



第2図 被覆肥料からの窒素溶出経過(1999年、施肥:5月1日)

IV 考察

1. 全量基肥栽培における水稻の生育特性

全量基肥栽培では、慣行分施に比べ、莖数は生育途中で少ないが成熟期の穂数は同程度になる。また、葉色の変化は少なく、慣行分施の追肥時期にも淡くならない、という生育の特性が明らかになった。他県での全量基肥

栽培の試験例はあるが、配合する肥料や地温が違うために、被覆肥料からの窒素溶出が異なることが予想され、生育の特性が本試験と同じになるとはかぎらない。しかし、全量基肥栽培における生育の特徴について、東北地域でも同様の報告がある⁵⁾。

全量基肥栽培での収量は、慣行分施に比べて同程度か増大した。その要因として1穂初数の増加によって総初

第11表 被覆肥料からの窒素溶出

| 年度 | 施肥日 | 移植日 | 出穂前20日 | 出穂期 | 肥料 | 溶出抑制期間(日) (10%溶出するまで) | 80%溶出まで の期間(日) | 出穂前20日 までの溶出率(%) | 出穂期までの 溶出率(%) | 成熟期での 溶出率(%) |
|------|------|-------|--------|-------|-------------------|--------------------------|-------------------|---------------------|------------------|-----------------|
| 1999 | 5月6日 | 5月12日 | 7月13日 | 8月2日 | LPS100 | 43 | 81 | 56 | 88 | 94 |
| | | | | | LPSS100 | 62 | 105 | 18 | 54 | 91 |
| | | | | | LPS100+LPSS100*1) | 49 | 96 | 37 | 71 | 93 |
| 2000 | 5月2日 | 5月10日 | 7月11日 | 7月28日 | LPS100 | 42 | 84 | 57 | 84 | 95 |
| | | | | | LPSS100 | 55 | 102 | 27 | 57 | 93 |
| | | | | | LPS100+LPSS100 | 46 | 94 | 42 | 71 | 94 |
| 2001 | 5月1日 | 5月9日 | 7月10日 | 7月24日 | LPS100 | 46 | 82 | 57 | 83 | 93 |
| | | | | | LPSS100 | 58 | 116 | 26 | 51 | 85 |
| | | | | | LPS100+LPSS100 | 50 | 96 | 42 | 67 | 89 |
| 平均 | | | | | LPS100 | 44 | 82 | 57 | 85 | 94 |
| | | | | | LPSS100 | 59 | 108 | 24 | 54 | 89 |
| | | | | | LPS100+LPSS100 | 49 | 95 | 40 | 70 | 92 |

*)溶出量および溶出期間は、多項式近似曲線(6次式)によって求めた

*1)LPS100:LPSS100=1:1に配合した場合

第12表 水稲の最適な窒素吸収量と肥料からの窒素供給量

| | | 出穂前20日 | 出穂期 |
|-------------------------------------|-----------------------------------|--------|-----|
| 窒素吸収量のモデル (kg/10a) | 水稲の最適な窒素吸収量(慣行分施平均) | 4.8 | 7.4 |
| | 土壌からの窒素吸収量(無窒素平均) | 2.9 | 4.4 |
| | 肥料からの窒素吸収量(慣行分施平均-無窒素平均) | 1.9 | 3.0 |
| 被覆肥料からの窒素溶出率(第11表から) (%) | LPS100 | 57 | 85 |
| | LPSS100 | 24 | 54 |
| | LPS100+LPSS100 | 40 | 70 |
| 肥料の溶出率・利用率から計算した窒素供給量*1 (kg/10a) | 速効性(2kg)+LPS100(4kg) | 2.7 | 3.8 |
| | 速効性(2kg)+LPSS100(4kg) | 1.5 | 2.6 |
| | 速効性(2kg)+LPS100(2kg)+LPSS100(2kg) | 2.1 | 3.2 |

*1) 全量基肥肥料の利用率の平均72.3%、速効性肥料の利用率を30%として、被覆肥料の利用率を93.4%と計算した。

肥料の溶出率・利用率から計算した窒素供給量

= (速効性肥料の施肥量) × (速効性肥料の利用率) + (被覆肥料の施肥量) × (被覆肥料の溶出率) × (被覆肥料の利用率)

数が多くなったことがあげられる。栃木県では以前に、配合する被覆肥料を LPS100 のみとしていたが、その場合も 1 穂数が増加することで総穂数が増加し、収量増となった^{4, 10)}。また、福島県の LP100 を用いた全量基肥栽培でも、収量増加は穂数増加に起因していると報告がある¹²⁾。

全量基肥栽培の玄米中窒素含有率は、慣行分施に比べて低く食味が向上した。全量基肥栽培によって玄米中の窒素含有率・タンパク含量が低下し、食味が向上するといった試験例は多い。福井県では、早植コシヒカリの LPSS100 のみを 50%配合した全量基肥栽培において玄米中のタンパク含量が低く品質が向上した⁶⁾。慣行分施のように窒素をまとめて追肥するよりも、全量基肥栽培のように窒素の供給を少しずつ行うことによって、食味も向上することが明らかになった。

2. 水稲の窒素吸収に適合した被覆肥料からの窒素溶出率の検証

水稲の最適な窒素吸収量を慣行分施区の 3 年間の平均値とし、土壌からの窒素吸収量を無窒素区の窒素吸収量

の平均値とすると、肥料からの窒素吸収量は、出穂前 20 日で 1.9kg/10a、出穂期で 3.0kg/10a と算出された(第 12 表)。

全量基肥肥料の利用率は、第 4, 6, 8 表の標準区の利用率を平均することによって、72.3%と算出できた。全量基肥肥料は速効性：被覆肥料 = 1 : 2 で配合されている。基肥として施肥される速効性肥料の利用率は、おおよそ 30%と多くの文献で見積もられている^{1, 7, 11)}。そこで、速効性肥料の利用率を 30%とし、全量基肥肥料全体の利用率が 72.3%、速効性：被覆肥料の配合割合が 1 : 2 であったことから、

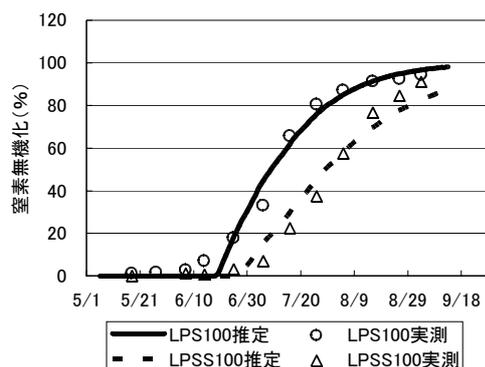
$(30 + 2x) / 3 = 72.3$ x : 被覆肥料の利用率(%)
という式を解くと、被覆肥料の利用率は 93.4%となる。この利用率と、出穂前 20 日で 40%および出穂期で 70%という被覆肥料の溶出率(第 11 表)から、出穂前 20 日と出穂期における「肥料の溶出率・利用率から計算した窒素供給量」が算出される。全量基肥栽培の標準区では速効性肥料、LPS100 および LPSS100 を 2 kg/10a ずつ施肥した。

第13表 被覆肥料の反応速度論的パラメーター

| 肥料の種類 | 活性化エネルギー Ea (cal/mol) | 速度定数 k (/day) | 最大溶出率 No (%) | 溶出抑制期間 TAU (day) |
|---------|--------------------------|------------------|-----------------|---------------------|
| LPS100 | 13925 | 0.039 | 101 | 36 |
| LPSS100 | 18044 | 0.018 | 113 | 40 |

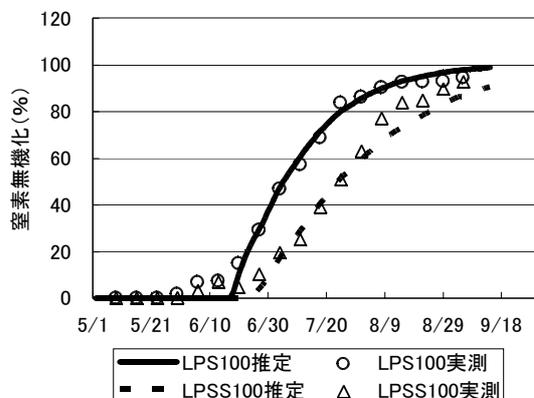
*)反応速度論式 $N = No(1 - \exp(-k(t - TAU)))$

1999年

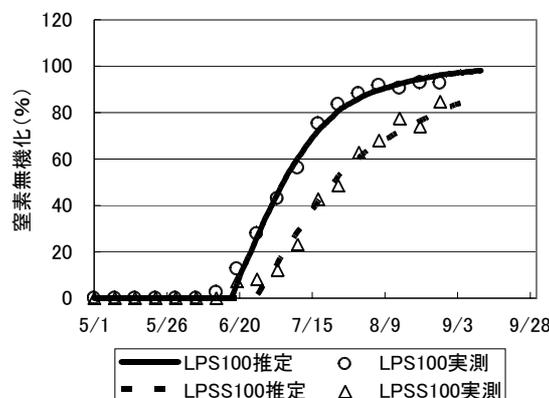


第3-1図 反応速度論的に推定した被覆肥料からの窒素溶出量と実測値(1)

2000年



2001年



第3-2図 反応速度論的に推定した被覆肥料からの窒素溶出量と実測値(2)

その場合、

$$\begin{aligned} & (\text{速効性肥料の施肥量}) \times (\text{速効性肥料の利用率}) \\ & + (\text{被覆肥料の施肥量}) \times (\text{被覆肥料の溶出率}) \times (\text{被覆肥料の利用率}) \end{aligned}$$

から、出穂前20日で2.1kg/10a、出穂期で3.2kg/10aの有効な肥料からの供給量があり、ほぼ前述した肥料からの最適な窒素吸収量(出穂前20日で1.9kg/10a、出穂期で3.0kg/10a)と同等であった(第12表)。ゆえに、全量基肥肥料の配合割合が速効性:LPS100:LPSS100 = 1:1:1で、被覆肥料の合計した窒素溶出率が出穂前20日で40%、出穂期で70%の時に、水稻の最適な窒素吸収パターンに適合すると言える。

上記計算で、水稻の土壌からの窒素吸収量を無窒素区の窒素吸収量として計算した。しかし、良好な生育を示す水稻は無窒素区的水稻に比べ生育量が多く、土壌から吸収する窒素量も多くなることが予想される。よって、肥料からの窒素吸収量は(慣行分施の窒素吸収量-無窒素区の窒素吸収量)で求めたため、第12表の値よりも全体的に低い可能性もある。同様に、施肥窒素の利用率

も見かけの利用率であり、無窒素区の吸収量を土壌からの吸収量として、

$$\text{施肥窒素利用率} = (\text{施肥区の窒素吸収量} - \text{無窒素区の窒素吸収量}) / \text{施肥区の窒素施肥量} \times 100$$

で求めている。したがって、被覆肥料の利用率も計算した値よりも低いことは予想され、「肥料の溶出率・利用率から計算した窒素供給量」も全体的に第12表の値よりも低い可能性はある。しかし、肥料からの窒素吸収量が実際は低くなったとしても、「肥料の溶出率・利用率から計算した窒素供給量」も低くなるため、上記の計算から示された全量基肥肥料に適した配合割合や、最適な被覆肥料からの窒素溶出率は有効であると考えられる。

3. 気象変動による被覆肥料からの窒素溶出量の推定

被覆肥料からの窒素溶出は一定以上の水分条件下では地温のみに依存しているため、栽培期間中の地温がわかれば、溶出のシュミレーションが可能であり²⁾、全量基肥肥料に配合する被覆肥料を選択することが出来る。

被覆肥料からの溶出のシュミレーションは、杉原ら⁹⁾の反応速度論の一次反応モデルで推測することが有効で

あり、その基本式を以下の様に設定した。

$$N = N_o(1 - \exp(-k(ts - TAU)))$$

N : 窒素溶出率 (%)

N_o : 最大溶出率 (%)

k : 無機化速度定数 (/day)

E_a : 活性化エネルギー (cal/mol)

TAU : 溶出抑制期間 (day)

ts : 標準温度における温度変換日数 (day)

$$ts = t \times \exp(E_a(T - T_s) / RTT_s)$$

t : 培養日数

T : 培養の絶対温度

T_s : 標準温度の絶対温度

R : 気体定数 (1.987cal/deg/mol)

ここで、そのパラメーターである、最大溶出率 N_o、速度定数 k、溶出抑制期間 TAU、活性化エネルギー E_a を求めることにより、窒素の溶出量が推測できる。パラメータの計算には、肥料の培養試験が必要で、培養期間中の窒素の溶出量を測定する。そして、パソコンによって、実測値と推定値の残差平方和が最も小さくなるパラメーターを計算する。

被覆肥料を 20, 25, 30 °C の定温器中で培養した結果から、被覆肥料の窒素溶出特性を明らかにするために、反応速度論的なパラメーターを求めた (第 13 表)。

第 3 図に今回の試験で、ほ場に埋設し溶出量を実測したデータと、実測した地温と第 13 表のパラメーターを用いて推測した窒素の溶出量を示す。この図から、3 年間の窒素の溶出に関して、実測値と計算した推定値はほとんど同様であり、この反応速度論式と、第 13 表のパラメーターの有効性が確認できた。したがって、このパラメーターを用いて、以下のように被覆肥料からの窒素溶出率を計算した。

通常の実施栽培においては、高温年では水稻の生育ステージが進み、追肥時期は通常の年よりも早まり、生育

診断によって穂肥を早めに施用しなくてはならない。低温年ではその逆で、生育が遅れ、施肥時期も遅れるといったことから、生育診断が必要になり、本県でもこの診断技術によって、高収量的水稻生産が可能となった。しかし、大規模農家では、ほ場面積が大きかったり、兼業農家では休日しか施肥できないといったことから、必ずしも適期に追肥ができていない。

この気象変動に対応した被覆肥料からの窒素溶出について、第 14 表に示した。高温年を 2001 年、低温年を 1993 年、平年に近い年を 1996 年として、第 13 表のパラメーターを用いて、被覆肥料からの窒素溶出を推定した。各年の出穂期などの日付は、栃木農試作物研究室の生育診断基本調査にしたがった。その結果、高温年 (2001 年) では、例えば出穂期は平年値よりも 9 日早まったが、出穂前 20 日での LPS100 + LPSS100 の溶出は 39.2 %、出穂期では 67.2 % であった。低温年 (1993 年) では、出穂期は平年よりも 12 日遅くなったが、出穂前 20 日の LPS100 + LPSS100 の溶出は 46.9 %、出穂期では 71.6 % であった。平年に近い年 (1996 年) では出穂期は 2 日ずれているが、出穂前 20 日では 46.5 % の溶出で、出穂期では 71.0 % であった。したがって、高温年では出穂期は大幅に早くなり、低温年では遅くなるが、出穂前 20 日や出穂期での被覆肥料からの溶出では、その違いは小さかった。出穂期に比べ出穂前 20 日では、肥料からの窒素溶出が急激であり、その分、1 日当たりの溶出量が多く、溶出に若干の違いがあったと思われるが、出穂期ではほとんど変わらなかった。これによって、被覆肥料からの窒素の溶出は、水稻の生育経過と同様に行われ、全量基肥栽培では気象変動にかかわらず、窒素の供給はおおよそ水稻にとって一定に行われることが示された。したがって、低温年、高温年という気象変動があったとしても、生育途中で追肥をするなどの技術は必要でない。

第14表 高温年と低温年における水稻の生育ステージと被覆肥料からの窒素溶出 (宇都宮・コシヒカリ)

| 分類 | 年 | 出穂期の平年値* 生育ステージとの差(日) | 生育ステージ | 日付 | 施肥後日数 | 溶出計算 (%) | | |
|--------|------|-----------------------|--------|-------|-------|----------|---------|----------------|
| | | | | | | LPS100 | LPSS100 | LPS100+LPSS100 |
| 高温年 | 2001 | -9 | 出穂前20日 | 7月6日 | 66 | 54.7 | 23.7 | 39.2 |
| | | | 出穂 | 7月25日 | 85 | 81.3 | 53.1 | 67.2 |
| 低温年 | 1993 | 12 | 出穂前20日 | 7月20日 | 80 | 64.2 | 29.6 | 46.9 |
| | | | 出穂 | 8月15日 | 106 | 86.3 | 56.9 | 71.6 |
| 平年に近い年 | 1996 | 2 | 出穂前20日 | 7月16日 | 76 | 63.1 | 29.8 | 46.5 |
| | | | 出穂 | 8月5日 | 96 | 85.0 | 57.0 | 71.0 |

*)出穂期の平年値:8月3日

*)出穂期や出穂前20日の日付は栃木農試作物研究室の生育診断基本調査による

以上のことから、水稻コシヒカリの全量基肥栽培における生育特性を明らかにし、その指針とした。全量基肥栽培では出穂前 20 日の葉色 (SPAD 値) は濃く、最高分けつ期の茎数は少ないという特徴があった。出穂前 20 日での葉色×茎数値 (13400 ~ 14700) を生育診断値とするときに、適正な生育を示しており、目標収量を得た。また、玄米中の窒素濃度は慣行分施肥栽培に比べて低かった。この生育診断値を下回る場合に追肥を行うことにより、玄米中の窒素濃度を増加させずに目標収量が確保できた。

全量基肥肥料に配合されている被覆肥料からの窒素溶出は、出穂前 20 日で 40 %、出穂期で 70 %であり、水稻の最適な窒素吸収パターンに適合していた。

引用文献

1. 日高 伸 (1996) 水稻の合理的全量基肥技術の開発 (2) - 埼玉県を例として - . 農業技術 51(7) : 24 ~ 28.
2. 石橋英二・金野隆光・木本英照 (1992) 反応速度論的方法によるコーティング窒素肥料の溶出評価. 日本土壤肥料学雑誌 63 : 664 ~ 668.
3. 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 水稻の全量基肥施肥技術. 日本土壤肥料学雑誌 66 : 71 ~ 79.
4. 茂木惣治 (1996) 水稻コシヒカリ専用元肥一発肥料の現地適応性 - 2 か年の現地試験成績から - . 農業および園芸 No71 : 599 ~ 605.
5. 日本土壤肥料学会東北支部 (1997) 平成 7 年度日本土壤肥料学会東北支部会シンポジウム報告 作物の生育特性と肥効調節型肥料の活用 (現状と将来) - 環境負荷軽減・省力多収栽培への道 - . 日本土壤肥料学雑誌 68 : 209 ~ 216.
6. 西端善丸・牧田康宏・伊森博志 (2001) コシヒカリの全量基肥施肥法による乳白粒の発生軽減と玄米品質の向上. 福井県農業試験場研究報告 38 : 41 ~ 45
7. 柴原藤善・武久邦彦・長谷川清善 (2000) 水稻窒素吸収量の簡易予測モデルと施肥診断システムの開発, 日本土壤肥料学雑誌 71 : 898 ~ 902
8. 柴原藤善・辻藤吾・西村誠 (1992) 被覆尿素肥料利用による水稻の施肥効率向上と肥料成分の流出軽減 - とくに重窒素標識被覆尿素の水稻窒素吸収について - . 滋賀県農業試験場研究報告 33 : 17 ~ 28
9. 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. 農業環境技術研究所報告 1 : 127 ~ 166
10. 手塚俊介 (1994) 緩効性肥料を利用した水稻の全量基肥栽培法. 栃木農試研報 42 : 9 ~ 24.
11. 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. 日本土壤肥料学雑誌 62 : 647 ~ 653.
12. 渡部陽子・武田敏昭 (1999) 福島県浜通り地域における水稻の施肥技術改善に関する栄養生理生態的研究. 福島県農業試験場研究報告 34 : 28 ~ 46.