

水稻に対する倒伏軽減剤入り肥料の
作用と効果に関する研究

関本 均

1994

水 稻 対 する 倒 伏 軽 減 剤 入 り 肥 料 の
作 用 と 効 果 に 関 す る 研 究

関 本 均

1994

目次

第1章 緒言	p. 1
第1節 農業における植物の化学調節の意義	
第2節 ユニコナゾールPの矮化作用	
第3節 ユニコナゾールPの作用機作と植物ホルモン含量に及ぼす影響	
第4節 水稻の施肥技術	
第5節 コシヒカリなどの長稈品種の栽培技術	
第6節 水稻用のユニコナゾールP入り肥料のねらい	
第2章 水稻の形態形成に対するユニコナゾールPと窒素の作用	
第1節 草丈、茎数、初数等の形質に対する作用	p. 8
第2節 幼植物の伸長生長に対する作用	p. 29
第3章 ユニコナゾールP処理をした水稻の養分吸収特性	p. 38
第4章 ユニコナゾールP入り肥料の効果と水田における挙動	
第1節 ユニコナゾールP入り肥料の効果とコシヒカリの草型および群落構造に及ぼす影響	p. 47
第2節 酒米「山田錦」に対するユニコナゾールP入り肥料の効果	p. 62
第3節 ユニコナゾールP入り肥料の成分の挙動	p. 69
第4節 水田土壌微生物に対するユニコナゾールP入り肥料の影響	p. 84
第5章 ユニコナゾールP入り肥料の利用法（実地試験のまとめ）	p. 88
第1節 短稈効果、倒伏軽減効果、収量および収量構成要素	
第2節 増肥時期と収量性	
第3節 コシヒカリの各作期における効果の変動	
第4節 肥料三要素の吸収	
第5節 玄米の物理的品質	
第6節 玄米の化学的品質と食味	
第7節 ユニコナゾールP入り肥料を取り入れた施肥体系の考え方	
第6章 総括	p. 106
文献	p. 113
謝辞	p. 124

第1章 緒言

第1節 農業における植物の化学調節の意義

農業における作物生産性の向上は主に次の3つの技術によってもたらされる。すなわち、(1)育種による生産性の高い作物種の作出(2)農薬(殺虫、殺菌、除草剤)を中心とする有害生物の防除を目的とした作物保護(3)肥料および施肥法、植物生長調節剤または植物工場といった化学的または工学的手法による生育制御などの植物生長調節技術の3つである。

(3)の概念の一つである植物ホルモンをはじめとする植物生長調節剤は、作物の生育環境を整えるために使用される農薬とは異なり、作物自身に直接作用して、作物の生育を人間の有利な方向に制御するために利用される。その利用例としては、ジベレリンによる種なしブドウの作出、4-クロロフェノキシ酢酸によるトマトやナスの着果促進等があり、矮化剤も植物生長調節剤の一つである¹⁻³⁾。

また、植物生長調節剤は植物の生長メカニズムの解明のための鍵にもなり、そこから導かれる知見は、植物生育制御技術の開発と農業生産性の向上につながることを期待される^{4, 5)}。

第2節 ウニコナゾールPの矮化作用

矮化剤(例えばDaminozide(B-9)、Chlormequat Chloride(CCC)、Ancymidol等)は、鉢植え園芸植物の草丈を抑制し、草姿の改善に利用されている^{1, 2)}。矮化剤ウニコナゾール((4-chlorophenyl)-4,4-dimethyl-2-(1H-1,2,4-triazol-1-yl)pent-1-en-3-ol)はアゾール系化合物と呼ばれる一群の生理活性物質に属し、これらの化合物には植物生長調節剤の他に、農業用殺菌剤、医療用抗真菌剤として知られているものがある。ウニコナゾールは殺菌剤を開発する目的で合成された化合物の中から、その矮化活性に着目して選抜されたものであり、関連化合物中で最も矮化活性の高い化合物である。

ウニコナゾールには二重結合に由来するE型およびZ型の幾何異性体と不斉炭素原子による光学異性体が存在する(第1-1図)。いず

れの異性体も矮化活性と抗菌活性を有し、幾何異性体間では矮化活性および抗菌活性ともにZ型よりもE型の活性が高い。一方、光学異性体間では、矮化活性はR体と比較してS体の活性が著しく高いが、抗菌活性は反対にR体の活性が高く、S体にはほとんど活性が認められない⁸⁾。したがって、ウニコナゾールは矮化活性の高いE型でS体のウニコナゾールP ((E)-(S)-(4-chlorophenyl)-4,4-dimethyl-2-(1H-1,2,4-triazol-1-yl)pent-1-en-3-ol)として開発がすすめられることになった。一方、殺菌剤としてはウニコナゾールの類縁化合物であるジニコナゾールが開発された^{7, 8)}。

こうしてウニコナゾールPは、まず最初に商品価値の高い鉢物を生産するために用いられる鑑賞用植物の矮化剤として、園芸分野を対象に開発された^{9, 10)}(写真1-1)。さらに近年、イネの稈の伸長を抑制して倒伏を軽減する水稻の倒伏軽減剤¹¹⁾として上市するに至った。

第3節 ウニコナゾールPの作用機作と植物ホルモン含量に及ぼす影響

ウニコナゾールPの矮化作用は、植物体の内生ジベレリンの分析や西洋カボチャの未熟種子から調整されたセルフリース系を用いた生化学的実験によって、*ent*-カウレンが*ent*-カウレン酸に酸化される3段階の酸化反応を阻害することによるジベレリンの生合成阻害作用に基づくことが明らかにされた^{12, 13)}。

また、ウニコナゾールPが植物に及ぼす生理作用には、矮化作用以外に①茎葉部の濃緑化および老化の遅延、②性表現の変化、③花芽形成の促進などが認められる。特に木本類に対する花芽形成促進作用は顕著であり、ツツジ類やシャクナゲ類等で報告されている¹⁴⁻¹⁷⁾。このような矮化作用以外の植物の反応も内生ジベレリンの減少が要因の一つであると考えられるが、ジベレリンの減少とともに他の植物ホルモンの生成や代謝にも直接的あるいは間接的に影響を受けていると考えられる。

そこでウニコナゾールPを処理した水稻茎葉部の内生植物ホルモ

ン含量が調べられ、ウニコナゾールPによってインドール酢酸(IAA)やアブシジン酸(ABA)含量は変化しないが、エチレン生成量は1.8倍に増加し、サイトカイニンの中で活性型と言われている ϵ -ゼアチンと ϵ -リボシルゼアチンの含量は約3倍に増加したという知見が得られている^{1,8)}。エチレンやサイトカイニンの生理作用としては①キュウリの雌花の分化促進^{1,9)}、②ナシやリンゴなどの果樹の花芽形成の促進^{2,9)}、③茎葉部の濃緑化など^{2,1)}が知られ、また矮化剤処理でサイトカイニン含量が増加するという現象も報告されており^{2,2)}、ウニコナゾールPの生理作用の一部はエチレンやサイトカイニンの作用に起因している可能性が考えられる。

第4節 水稻の施肥技術

水稻では最高分けつ期と幼穂形成期に窒素などの養分を最も吸収することが植物栄養学的研究によって明らかにされ、これが幼穂形成期に追肥する「穂肥」の技術となって発展してきた。一般に穂肥は有効茎歩合の向上、一穂粒数の増加および退化防止等の、いわば稲体の活力維持のために施され、出穂25日前頃の施用が効果的である。また、食味を低下させる懸念があるため、最近は施用を控える傾向がみられるが、登熟を改善するため出穂後に施される実肥(穂揃期追肥)の効果についても明らかにされた。

こうした成果に基づいて窒素を基肥と何回かの追肥に分けて施す「窒素分施肥」が確立され、水稻の多収技術の一つになった。特に過繁茂を回避するために、基肥は有効茎数の確保に必要な量にとどめ、穂肥以降の後期追肥に重点をおく「後期(追肥)重点主義」の施肥法が普及した。

第5節 コシヒカリなどの長稈品種の栽培技術

水稻の栽培はコシヒカリ、ササニシキを中心に良食味米趣向が毎年強くなり、特にコシヒカリは倒伏しやすく、作りにくいと言われながらも、栽培面積が増加してきた。1993年における作付面積は53.6Khaに伸び、水稻うるち米の全作付面積の約30%を占めている。これに伴って倒伏しやすい品種の安定多収のために、生育を的確に診

断、予測して、適切な生育の制御を図る管理技術の確立が行われてきている²³⁻²⁵⁾。

コシヒカリの栽培のポイントとしては①健苗育成、②中干しの徹底、③基肥を日本晴などの強稈性品種に比べて減量する、④穂肥時期は適期である幼穂形成期（出穂前25日頃）を避けて、出穂前18日以降に遅らせる、⑤稈基部と根を強めるための実肥の施用、⑥落水期の延長などがあげられる^{26, 27)}。近年、さらに安定多収と品質の向上が求められており、なかでも作業能率の低下、収量の減少や玄米品質の低下をもたらす倒伏を避けることが大きな課題となっている。

従来、倒伏を避ける方法は主に水管理と施肥の調整（施肥量、施肥時期）で行われてきたが、気象条件によっては生育の調整が困難であるため、倒伏を十分に制御するには至っていない。そこで化学薬剤による倒伏軽減法が模索され、古くは除草剤の2,4-D、MCPや殺菌剤のIBP（キタジンP）が利用された。しかし、いずれも本来使用目的以外の副作用を利用しているにすぎず、薬剤使用基準を越えた使用や収量への影響などで問題が多かった²⁸⁾。また、花卉用の矮化剤B-9やヨーロッパでムギ用の倒伏軽減剤として用いられているCCCなどの利用も試みられたが、実用化には至らなかった。また最近では、イナベンフィド²⁹⁾、パクロブトラゾール³⁰⁾、ウニコナゾールP³¹⁾などの倒伏軽減剤が開発され、利用され始めている。

第6節 水稻用のウニコナゾールP入り肥料のねらい

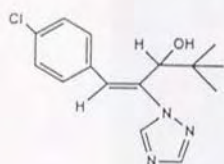
前述したようにコシヒカリなどの長稈の品種では、幼穂形成期は穂肥の適期であるが、この時期は下位節間の伸長期にもあたり、倒伏を助長するため、穂肥は出穂25日前頃を避けて、下位節間の伸長が終了してから（出穂18～15日前以降）施しているのが実情である。

そこで、筆者らは倒伏軽減剤ウニコナゾールPと肥料を組み合わせれば、倒伏を軽減し、かつ穂肥適期である幼穂形成期に穂肥を施すことができるようになり、コシヒカリ等の長稈性の品種の安定多

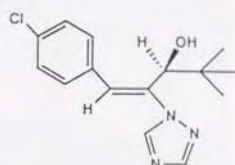
収を図れるのではないかと考えて、その開発を試みた。

ウニコナゾールP入り肥料は農薬入り肥料の範疇に入り、施肥と施薬が同時に行え、作業の省力化を図れるという利点がある^{31, 32)}。この利点に加えてウニコナゾールP入り肥料は、倒伏軽減効果とそれに基づく施肥時期の是正という効果が期待でき、これを利用することによって新しい水稻の施肥法が構築できるので、いわば機能性の穂肥用肥料として位置付けられる。

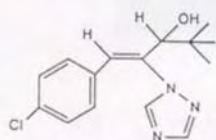
本研究は、まず基礎的な課題として水稻に対するウニコナゾールPの作用を窒素栄養条件と関連させて検討した後、ウニコナゾールP入り肥料の実用化にあたって、その効果を明らかにすることを目的とした。



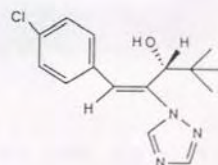
(RS) - (E)
S-3307
Uniconazole



(S) - (E)
S-3307D
Uniconazole-P



(RS)-(Z)



(R)-(E)

第1-1図 ウニコナゾールとその幾何および光学異性体



写真1-1 ウニコナゾールPのポットマム（品種：イエローパラゴン）
に対する矮化作用

第2章 水稻の形態形成に対するウニコナゾールPと窒素の作用

第1節 草丈、茎数、穂数等の形質に対する作用

ジベレリン生合成阻害剤ウニコナゾールPは矮化作用を示し、草丈の伸長抑制や短稈効果などの植物の形態形成に変化をもたらす。一方、窒素にも茎葉部の伸長や水稻では茎数、穂数の増加作用がある。そこで、コシヒカリの地上部の形質（草丈、茎数、穂数、平均一穂穂数、総穂数および稈長）に対するウニコナゾールPと窒素の作用について、水耕法を用いて検討した。

1. 材料および実験方法

1) 耕種概要

試験は1992年と1993年に行い、培土をつめた育苗箱で、屋外にて生育させた播種20日後のコシヒカリ苗を両年ともに6月20日に、春日井培地を基本とした水耕液に移植した。水耕液は第2-1表のような組成で、水道水を用いて作成した。この水耕液(3L)を 0.02m^2 のワグネルポットに満たし、小石を苗の支持体として直径18cmのザルに3本1株としてポット中央部に栽植した。その後、屋外の雨よけを設けた網室で栽培を継続した。水耕液は3日ごとに全量更新し、生育が進んで培地のpHが著しく変化する場合には、毎日pHを5.8に調整した。出穂は両年ともに8月20日であり、出穂10日後までは基本培地で、その後はpHを調整した水道水のみで栽培した。

2) 薬剤処理

ウニコナゾールP 50gkg^{-1} の乳剤を希釈して 10mg L^{-1} の溶液を作成し、所定のウニコナゾールP濃度になるように水耕液に滴下した。また、ジベレリン(GA_3)は、 31g kg^{-1} の顆粒剤を用いて同様に調整した。なお、ウニコナゾールPや GA_3 の添加によって水耕液のpHが変化することはなかった。試験は3反復で行った。

3) 実験1 各生育段階におけるウニコナゾールPの作用

ウニコナゾールP処理($10 \mu\text{g L}^{-1}$)を ①出穂53日前(-53)~42日前(-42)、②-42~-32日、③-32~-21日、④-21~-11日、⑤-11~出穂日(+0)、⑥+0~出穂11日後(+11)の所定の期間に行い、各生育段階におけるウニコナゾールPの作用について検討した。この期間以外の時期にはウニコナゾールP無処理の基本培地で栽培した。

4) 実験2 幼穂形成期におけるウニコナゾールPの作用

幼穂形成期に相当する10日間(出穂31日前~22日前)、ウニコナゾールP処理を行い、この期間以外はウニコナゾールP無処理の基本培地で栽培した。ウニコナゾールPの処理濃度は0(無処理)、0.1、0.5、1.0、5.0、 $10.0 \mu\text{g L}^{-1}$ の6段階で行った。

5) 実験3 ウニコナゾールPの作用に対する窒素の影響

出穂31日前~22日間の10日間、ウニコナゾールP処理($10.0 \mu\text{g L}^{-1}$)を行うと同時に水耕培地の窒素濃度を基本培地($\text{NH}_4\text{-N} + \text{NO}_3\text{-N} : 8+8 \mu\text{g L}^{-1}$)と、その0.125倍、0.25倍、3倍および6倍に設定し、ウニコナゾールPの作用に対する窒素の影響について検討した。

6) 実験4 ウニコナゾールPの作用に対するGA₃の影響

まずGA₃の水稻の形態形成に対する作用を確認するために、基本培地とその3倍の窒素濃度条件下で出穂31日前~22日間の10日間、GA₃($100 \mu\text{g L}^{-1}$)を処理した。次にウニコナゾールP($10.0 \mu\text{g L}^{-1}$)とGA₃($100 \mu\text{g L}^{-1}$)を同時に同期間処理して、ウニコナゾールPの作用に対するGA₃の影響について検討した。

7) 調査

草丈および茎数を所定の期日に測定した。収穫は出穂45日後に行った。一株ごとに乾燥した後、平均稈長に相当する3本を選んで稈長、節間長および穂長を測定し、平均値を求めた。また、選抜した3本を含めて株ごとに穂数を計数した後、脱穀して株当たり総粒数を調査した。平均一穂粒数は総粒数を穂数で除して算出した。

2. 結果および考察

1) 実験1 各生育段階におけるウニコナゾールPの作用

草丈の推移を第2-2表に示した。草丈の抑制効果はウニコナゾー

ルP処理開始10日頃から現れ、約20日後に抑制率が最大になった。生育初期の処理(①②)では出穂期には回復傾向にあり、短稈効果もやや弱くなった。出穂期の草丈抑制効果および短稈効果は③-32~-21日、④-21~-11日、⑤-11~出穂日(+0)の時期の処理で強く現れた。処理時期によって短縮される節間が異なり、③では第4~第5節間、④では第3~第4節間、⑤では第2~第3節間が主に短縮された。穂長は①から④まで時期の処理で短くなり、特に③幼穂形成期処理で短縮程度が大きかった(第2-1図、第2-4(1)表)。

茎数の増加作用は第2-3表のように有効茎数が決定する時期までの処理(①-53~-42日、②-42~-32日、③-32~-21日)で明らかに認められた。茎数増加作用は草丈抑制作用と同様に、処理開始10日頃から現れた。

第2-4(2)表に穂数、平均一穂初数および株当たり総初数を示した。穂数は茎数増加作用が認められた①~③の時期の処理で多くなり、特に③幼穂形成期処理で著しく増加した。一方、株当たり総初数は①~⑤の時期の処理で低下し、③幼穂形成期処理では特に顕著に低下した。これは穂数の増加による一穂初数の低下以上に一穂初数が減少するためであった。

2) 実験2 幼穂形成期におけるウニコナゾールPの作用

出穂11日前(ウニコナゾールP処理終了後10日目)の草丈、茎数を第2-5(1)表に示した。草丈は $0.1 \mu\text{g L}^{-1}$ 以上の処理で明らかに抑制された。茎数はウニコナゾールP処理によって増加し、特に $5.0 \mu\text{g L}^{-1}$ 以上で有意に増加した。稈長を第2-5(2)表、第2-2図に示した。 $10.0 \mu\text{g L}^{-1}$ 処理で有意に短稈化したが、 $0.1 \sim 5.0 \mu\text{g L}^{-1}$ 処理ではほとんど短稈化は認められず、 $0.1 \sim 1.0 \mu\text{g L}^{-1}$ 処理では稈長はむしろ長くなる傾向にあった。このように $10.0 \mu\text{g L}^{-1}$ 未満の処理では処理後に草丈は抑制するが、この抑制作用は長期間は持続せず、稈長には影響しないと考えられた。なお、穂長は $5.0 \mu\text{g L}^{-1}$ 以上の処理で明らかに短くなった。

穂数、平均一穂初数および総初数を第2-5(3)表に示した。茎数の

増加に伴って穂数も増え、 $5.0 \mu\text{g L}^{-1}$ 以上で有意に増加した。総粒数は実験1では $10.0 \mu\text{g L}^{-1}$ の処理で明らかに減少したが、ここでは同じ設定濃度でも大きな減少は認められなかった。穂数と平均一穂粒数は補償関係にあり、ウニコナゾールP $5.0 \mu\text{g L}^{-1}$ の処理までは穂数増加に伴って平均一穂粒数も減少する。しかし、 $10.0 \mu\text{g L}^{-1}$ 以上の処理では穂数の増加による低下以上に一穂粒数が減少する傾向があるので、著しい生長抑制が現れる場合にはウニコナゾールPは穎花の分化に抑制的に作用すると考えられる。

3) 実験3 ウニコナゾールPの作用に対する窒素の影響

第2-6(1)表に出穂11日前(ウニコナゾールP処理後10日目)の草丈と茎数を示した。窒素濃度が高くなるにつれて草丈、茎数ともに増加した。草丈はウニコナゾールP処理によって約10%抑制され、茎数は窒素の作用と相乗して増加した。稈長は窒素濃度が高くなるにつれて長くなり、ウニコナゾールPによる短程効果は窒素濃度が $\text{NH}_4\text{-N} + \text{NO}_3\text{-N} : 24 + 24 \mu\text{g L}^{-1}$ 以上で明らかに緩和されたが、無処理区並みに回復するには至らなかった(第2-3図、第2-6(2)表)。また、穂長はウニコナゾールP処理で明らかに短縮されたが、窒素濃度の影響は認められなかった。半矮性遺伝子 *sd-1* は稈長とともに穂長も短縮し、多窒素条件下で分けつを増加させる作用が大きいことが示されている^{3,21}。この点でウニコナゾールPの作用と半矮性遺伝子 *sd-1* の作用とは類似していた。

穂数、平均一穂粒数および総粒数を第2-7表に示す。窒素施用による茎数の増加に基づいて穂数も増加し、有効茎歩合も高かった。また、窒素濃度を上げることによって穂数および一穂粒数ともに増えるので、総粒数は増加した。特に穂数の増加が総粒数の増加に寄与していた。つまり窒素の作用は平均一穂粒数の増加としてよりも穂数増加(茎数増加)として強く現れることが示唆された。一方、穂数増加作用は窒素よりもウニコナゾールPの方が大きかった。また、ウニコナゾールP処理によって一穂粒数が減少し、総粒数は明らかに低下した。ウニコナゾールPの茎数増加作用に対する窒

素の相乗作用は、有効茎数に限度があるために明らかでなかったが、窒素の一穂数増加作用はウニコナゾールP処理条件下においても認められた。ただし本試験の設定濃度ではウニコナゾールPの一穂数の減少作用が強いので窒素濃度を上げることによって減少の程度は緩和されるが、無処理区並みに回復はしなかった。

4) 実験4 ウニコナゾールPの作用に対するGA₃の影響

GA₃は節間長の伸長を誘起し³⁴⁾、さらに節間長よりも葉鞘長の伸長に対して敏感に作用することが知られている³⁵⁾。本試験でも同様な結果が得られ、主に第4節間～第6節間の伸長によって稈長が伸びた(第2-8(1)表、第2-8(2)表、第2-4図)。また、GA₃処理によって草丈の伸長促進は稈長のそれよりも強い傾向にあった。なお、上位節間や穂長には影響がなかった。一方、茎数はGA₃処理によって有意に減少し、穂数の減少に至った(第2-8(1)表)。穂数の減少程度は窒素濃度が高いほど大きくなる傾向にあった。また、一穂数は明らかに増加したが、穂数の減少は補償されず、総穂数は低下した(第2-8(3)表)。これらの結果は、窒素およびGA₃ともに草丈、二次枝梗数、小穂数を増加させ、両者の併用によって特に著しく増加する³⁶⁾という知見と一致した。

ウニコナゾールPとGA₃の混合処理の結果を第2-9表および第2-5図に示した。GA₃の添加によってウニコナゾールPの草丈抑制効果、短稈効果、茎数および穂数増加作用は解除された。また、ウニコナゾールPによる節間の短縮はGA₃の添加で全節間ともに解除され、穂長も回復した。さらにウニコナゾールPの穂数の増加作用および一穂数の減少作用もGA₃によって回復した。ただし、GA₃処理による穂数の減少作用が一穂数の増加作用よりも大きかったので、無処理区並みの総穂数を確保するまでには回復しなかった。このように穂数や一穂数に対して、GA₃はウニコナゾールPと反対の作用を示した。

幼穂形成期にウニコナゾールP単剤を処理すると平均一穂数が減少することが知られている^{37, 38)}。また、幼穂始原体分化期直後

のジベレリン処理で枝梗数、小穂数の増加が顕著になり、平均一穂
 穂数が増加することが示されている^{30, 40)}。また、蓬原⁴¹⁾はジベ
 レリンの穂数の増加作用は矮性系統の水稻で大きく、矮性遺伝子は
 枝梗の分化、生長の両者に対して抑制的に働き、特に二次枝梗の分
 化を著しく抑制しており、これが主因で平均一穂穂数が少なくなっ
 ていることを示した。また、穂の稔性と蒴に含まれるジベレリンレ
 ベルには密接な関係があり⁴²⁾、また、穀粒の充実にしたがって穂
 の内生 ABA含量が増加するという報告もある⁴³⁾。以上のように穂
 数や一穂穂数の形質発現にもジベレリンをはじめとする植物ホルモ
 ンが関与していると考えられる。

実験2と3の結果から各形質に影響を与えるウニコナゾールPと
 窒素の濃度は、ウニコナゾールPについては、草丈:0.1、茎数およ
 び穂数:5.0、一穂穂数:5.0、総穂数:10.0 $\mu\text{g L}^{-1}$ であり、窒素につ
 いては、草丈:8+8、茎数および穂数:24+24、一穂穂数:24+24、総穂
 数:24+24 $\mu\text{g L}^{-1}$ であった。なお、草丈抑制作用は認められても短稈
 効果までは持続しないという傾向があるので、稈長については同時
 に比較できない。以上のようにウニコナゾールPも窒素も草丈に対
 して最も敏感に影響し、穂数や一穂穂数などの草丈以外の形質に対
 するよりも、ウニコナゾールPでは50~100倍、窒素では3倍高か
 った。つまり、ウニコナゾールPで穂数の増加を達成するには顕著
 な草丈の抑制が起こる施用量が必要であり、逆に言えば倒伏軽減の
 ための実用的な短稈効果をもたらすウニコナゾールPの処理量では
 穂数の増加作用はあまり期待できないと考えられる。また、ウニコ
 ナゾールPは一穂穂数の減少を伴うので、総穂数の増加のための穂
 数の増加は、窒素の施用によって達成する方が望ましいと思われる。

窒素やリン酸は分けつの発達に大きく影響し^{44, 45)}、また、幼穂
 の分化に対して窒素は抑制または遅延させ、リン酸は促進作用があ
 るが、いずれにしても幼穂の分化は起こるので無機栄養は質的では
 なく、量的な作用である⁴⁶⁾と言われている。また、イネの分けつ
 はオーキシン(NAA)で抑制され、アンチオーキシンで促進されるの

で、分けつ発生はオーキシンに支配されていることが示されている⁴⁷⁾。さらに近年、オオムギではサイトカイニンで分けつ発生が促進され、アンチサイトカイニンで抑制されることから、分けつ発生におけるサイトカイニンの関与も示唆されている⁴⁸⁾。特に生長を抑制するウニコナゾールPと促進する窒素は、相反する作用を示すと予想されたが、ウニコナゾールPと窒素は一穂穂数に対しては相反するが、穂数に対しては相乗的に作用することから、それらの作用は必ずしも相反しないことがわかった。したがって、一穂穂数の増加作用のような水稻の形態形成に対する窒素の作用の一部は、窒素施用による内生ジベレリンレベルの増加に起因すると考えられるが、窒素による茎数や穂数の増加作用はジベレリンレベルの増加よりもタンパク合成能などの同化能が促進されるという窒素の直接的な作用の方が強いと推察された。

第2-1表 供試した水耕培地組成

肥料成分	濃度 (mg L ⁻¹)	供試塩類
NH ₄ -N	8.0	(NH ₄) ₂ SO ₄
NO ₃ -N	8.0	NaNO ₃
P	8.8	Na ₂ HPO ₄ · 12H ₂ O
K	24.9	KCl
Ca	2.9	CaCl ₂ · 2H ₂ O
Mg	3.6	MgSO ₄ · 7H ₂ O
Fe	2.8	EDTA-Fe
Mn	0.5	MnSO ₄ · 5H ₂ O
B	0.5	H ₃ BO ₃

培地には水道水を用い、pH 5.8に 2N H₂SO₄ で調整した。

第2-2表 各生育段階におけるウニコナゾールPの地上部の形質に対する作用(1)

(草丈)		(cm)		
ウニコナゾールP 処理時期	6/29 * ¹ (-53)	7/10 (-42)	7/20 (-32)	
① -53~-42 * ²	32.3 a (102)	38.3 c (74)	39.7 c (58)	
② -42~-32	32.7 a (103)	52.0 ab (101)	57.0 b (84)	
③ -32~-21	31.7 a (100)	51.7 ab (100)	69.0 a (101)	
④ -21~-11	30.3 a (96)	50.0 b (97)	68.3 a (100)	
⑤ -11~+0	31.0 a (98)	50.0 b (97)	68.7 a (101)	
⑥ +0~+11	33.0 a (104)	54.7 a (106)	67.0 a (99)	
⑦ 無処理	31.7 a (100)	51.7 ab (100)	68.0 a (100)	

ウニコナゾールP 処理時期	7/31 (-21)	8/10 (-11)	8/20 (+0)	
① -53~-42	62.3 c (75)	73.3 c (83)	91.7 b (92)	
② -42~-32	57.3 d (69)	68.0 d (77)	89.7 b (90)	
③ -32~-21	70.0 b (85)	69.7 cd (79)	70.0 d (70)	
④ -21~-11	80.7 a (98)	81.3 b (92)	83.7 c (84)	
⑤ -11~+0	83.0 a (100)	88.7 a (100)	92.7 b (93)	
⑥ +0~+11	82.7 a (100)	90.0 a (101)	101.3 a (102)	
⑦ 無処理	82.7 a (100)	88.7 a (100)	99.3 a (100)	

同一アルファベット間は、ダンカンの多重検定による有意差(5%)がないことを示す。

()内は無処理区を100とした指数

* 1 調査日と出穂前日数

* 2 出穂前または出穂後日数

第2-3表 各生育段階におけるウニコナゾールPの地上部の形質に対する作用(2)

ウニコナゾールP 処理時期	(茎数)			(本)		
	6/29 *1 (-53)			7/10 (-42)		7/20 (-32)
① -53~-42 *2	7.3	b (88)		16.7	c (74)	34.0 a (127)
② -42~-32	8.0	ab (96)		16.3	c (72)	29.7 ab (111)
③ -32~-21	7.3	b (88)		15.3	c (67)	20.0 d (75)
④ -21~-11	8.3	ab (100)		16.7	c (74)	20.3 d (76)
⑤ -11~ +0	8.3	ab (100)		17.7	bc (78)	21.7 cd (81)
⑥ +0~+11	9.7	a (117)		22.0	ab (97)	26.7 bc (100)
⑦ 無処理	8.3	ab (100)		22.7	a (100)	26.7 bc (100)

ウニコナゾールP 処理時期	7/31 (-21)			8/10 (-11)			8/20 (+0)		
① -53~-42	33.0	b (127)		29.3	b (127)		26.3	b (111)	
② -42~-32	47.3	a (182)		41.3	a (180)		38.0	a (160)	
③ -32~-21	25.7	c (99)		39.3	a (171)		40.0	a (169)	
④ -21~-11	20.0	c (77)		19.6	c (85)		20.3	c (86)	
⑤ -11~ +0	22.0	c (85)		21.0	c (91)		20.0	c (84)	
⑥ +0~+11	25.0	c (96)		22.3	c (97)		20.7	c (87)	
⑦ 無処理	26.0	c (100)		23.0	c (100)		23.7	bc (100)	

同一アルファベット間は、ダンカンの多重検定による有意差(5%)がないことを示す。

()内は無処理区を100とした指数

*1 調査日と出穂前日数

*2 出穂前または出穂後日数

第2-4表 各生育段階におけるウニコナゾールPの地上部の形質に対する作用(3)

(1) (稈長と穂長)

ウニコナゾールP 処理時期	稈長 (cm)	穂長 (cm)
① -53~-42 *	72.5 ab (99)	15.2 b (92)
② -42~-32	65.9 b (90)	14.8 b (89)
③ -32~-21	55.6 c (76)	13.6 c (82)
④ -21~-11	52.0 d (71)	14.7 b (89)
⑤ -11~ +0	57.1 c (78)	16.9 a (102)
⑥ +0~+11	76.2 a (105)	17.0 a (102)
⑦ 無処理	72.9 ab (100)	16.6 a (100)

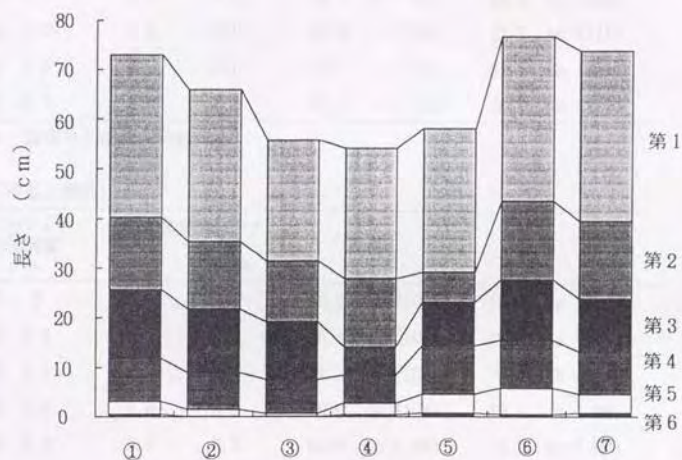
(2) (穂数、平均一穂粒数および株当たり総粒数)

ウニコナゾールP 処理時期	穂数	平均 一穂粒数	株当たり 総粒数
① -53~-42 *	24.7 b (112)	56.9 (82)	1406.3 b (92)
② -42~-32	25.0 b (114)	47.4 (68)	1184.9 c (77)
③ -32~-21	33.0 a (150)	31.7 (46)	1047.3 d (68)
④ -21~-11	19.3 c (88)	60.1 (86)	1160.3 c (76)
⑤ -11~ +0	19.3 c (88)	74.7 (107)	1442.2 ab (94)
⑥ +0~+11	19.7 c (90)	77.2 (111)	1521.2 a (99)
⑦ 無処理	22.0 bc (100)	69.5 (100)	1530.0 a (100)

同一アルファベット間には、ダンカンの多重検定による有意差(5%)がないことを示す。

()内は無処理区を100とした指数

* 出穂前日数



第2-1図 各試験区の節間長 (cm)

第2-5表 幼穂形成期におけるウニコナゾールPの地上部の形質に対する作用

(1) (草丈と茎数)

ウニコナゾールP 処理濃度 ($\mu\text{g/L}^{-1}$)	窒素濃度(mg/L^{-1})		8/9 (-11) *			
	NH ₄ -N	NO ₃ -N	草丈 (cm)		茎数 (本)	
① 0	8.0	8.0	84.0	a (100)	20.3	c (100)
② 0.1	8.0	8.0	75.3	b (90)	22.3	bc (110)
③ 0.5	8.0	8.0	72.7	bc (87)	24.0	bc (118)
④ 1.0	8.0	8.0	69.0	c (82)	22.7	bc (111)
⑤ 5.0	8.0	8.0	62.7	d (75)	31.3	ab (154)
⑥ 10.0	8.0	8.0	63.3	d (75)	36.0	a (177)

* 調査日と出穂前日数

(2) (稈長と穂長)

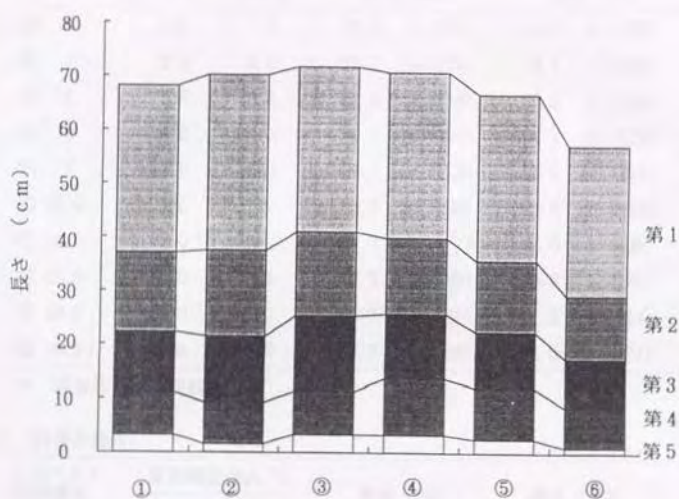
ウニコナゾールP 処理濃度 ($\mu\text{g/L}^{-1}$)	窒素濃度(mg/L^{-1})		稈長		穂長	
	NH ₄ -N	NO ₃ -N				
① 0	8.0	8.0	68.2	b (100)	16.4	a (100)
② 0.1	8.0	8.0	70.1	a (103)	16.6	a (101)
③ 0.5	8.0	8.0	71.7	a (105)	16.1	ab (98)
④ 1.0	8.0	8.0	70.6	a (104)	16.1	a (98)
⑤ 5.0	8.0	8.0	66.6	b (98)	15.2	bc (93)
⑥ 10.0	8.0	8.0	57.0	c (84)	14.5	c (89)

(3) (穂数、平均一穂初数および株当たり総穂数)

ウニコナゾールP 処理濃度 ($\mu\text{g/L}^{-1}$)	窒素濃度(mg/L^{-1})		穂数	平均 一穂初数		株当たり 総穂数	
	NH ₄ -N	NO ₃ -N					
① 0	8.0	8.0	19.3	c (100)	57.4	(100)	1107.0 a (100)
② 0.1	8.0	8.0	19.7	c (102)	58.3	(102)	1142.7 a (103)
③ 0.5	8.0	8.0	21.7	bc (112)	53.8	(94)	1155.7 a (104)
④ 1.0	8.0	8.0	21.0	c (109)	53.9	(94)	1088.3 a (98)
⑤ 5.0	8.0	8.0	27.3	ab (141)	42.1	(73)	1140.7 a (103)
⑥ 10.0	8.0	8.0	28.7	a (148)	36.9	(64)	1055.7 a (95)

同一アルファベット間、ダンカンの多重検定による有意差 (5%) がないことを示す。

() 内は無処理区を 100とした指数



第2-2図 各試験区の節間長 (cm)

第2-6表 ユニコナゾールPの作用に対する窒素の影響(1)

(1) (草丈と茎数)

ユニコナゾールP 処理濃度 ($\mu\text{g L}^{-1}$)	窒素濃度(mg L^{-1})		8/9 (-11) *			
	NH ₄ -N	NO ₃ -N	草丈 (cm)		茎数 (本)	
① 0	1.0	1.0	71.0	b (100)	19.3	d (100)
② 0	2.0	2.0	72.7	b (102)	19.7	d (102)
③ 0	8.0	8.0	84.0	a (118)	20.3	d (105)
④ 0	24.0	24.0	88.7	a (125)	23.7	cd (123)
⑤ 0	48.0	48.0	89.0	a (125)	23.5	cd (122)
⑥ 10.0	1.0	1.0	68.0	bc (96)	23.0	cd (119)
⑦ 10.0	2.0	2.0	64.7	cd (91)	26.0	c (135)
⑧ 10.0	8.0	8.0	63.3	cd (89)	36.0	b (187)
⑨ 10.0	24.0	24.0	64.7	cd (91)	41.3	a (214)
⑩ 10.0	48.0	48.0	59.7	d (84)	24.0	cd (124)

* 調査日と出穂前日数

(2) (稈長と穂長)

ユニコナゾールP 処理濃度 ($\mu\text{g L}^{-1}$)	窒素濃度(mg L^{-1})		稈長 (cm)	穂長 (cm)
	NH ₄ -N	NO ₃ -N		
① 0	1.0	1.0	64.7 cd (100)	16.8 ab (100)
② 0	2.0	2.0	65.8 bc (102)	16.8 a (100)
③ 0	8.0	8.0	68.2 b (105)	16.4 ab (98)
④ 0	24.0	24.0	72.8 a (113)	17.1 bcd (102)
⑤ 0	48.0	48.0	71.6 a (111)	17.0 bcd (101)
⑥ 10.0	1.0	1.0	58.2 e (90)	15.3 cde (91)
⑦ 10.0	2.0	2.0	54.5 e (84)	14.4 e (86)
⑧ 10.0	8.0	8.0	57.0 e (88)	14.5 e (86)
⑨ 10.0	24.0	24.0	62.3 d (96)	14.6 de (87)
⑩ 10.0	48.0	48.0	61.0 d (94)	15.4 bc (92)

同一アルファベット間には、ダンカンの多重検定による有意差(5%)がないことを示す。

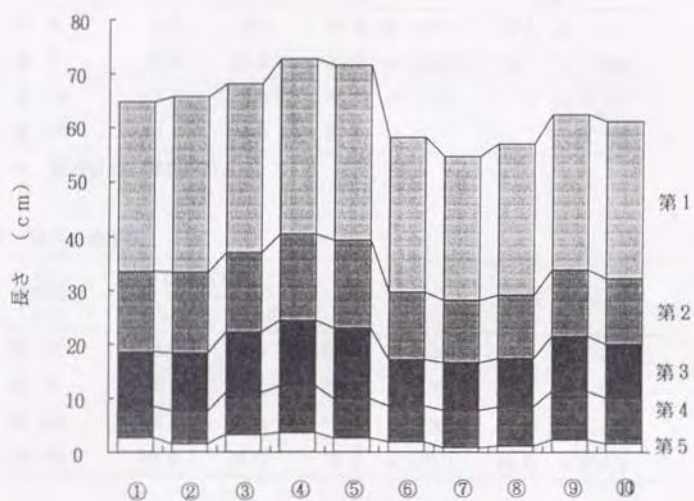
()内はユニコナゾールP無処理区で窒素濃度 $1.0+1.0\mu\text{g L}^{-1}$ の試験区を100とした指数

第2-7表 ウニコナゾールPの作用に対する窒素の影響(2)

(穂数、平均一穂初数および株当たり総初数)

ウニコナゾールP 処理濃度 ($\mu\text{g L}^{-1}$)	窒素濃度(mg L^{-1})		穂数	平均 一穂初数	株当たり 総初数
	$\text{NH}_4\text{-N}$	$\text{NO}_3\text{-N}$			
① 0	1.0	1.0	17.7 de (100)	58.6 (100)	1036.7 b (100)
② 0	2.0	2.0	16.3 e (92)	58.7 (100)	955.3 bc (92)
③ 0	8.0	8.0	19.3 de (109)	57.4 (98)	1107.0 b (107)
④ 0	24.0	24.0	21.7 bcd (123)	63.3 (108)	1364.3 a (132)
⑤ 0	48.0	48.0	22.0 bcd (124)	63.3 (108)	1391.5 a (134)
⑥ 10.0	1.0	1.0	24.3 abc (137)	32.2 (55)	777.3 c (75)
⑦ 10.0	2.0	2.0	27.7 a (156)	30.3 (52)	838.3 c (81)
⑧ 10.0	8.0	8.0	28.7 a (162)	36.9 (63)	1055.7 b (102)
⑨ 10.0	24.0	24.0	26.0 ab (147)	40.6 (69)	1054.3 b (102)
⑩ 10.0	48.0	48.0	21.0 cd (119)	38.5 (66)	809.0 c (78)

同一アルファベットは、ダンカンの多重検定で有意差(5%)がないことを示す。
 ()内は、ウニコナゾールP無処理で窒素濃度 $1.0 \pm 1.0 \mu\text{g L}^{-1}$ の試験区を100とした指数



第2-3図 各試験区の節間長 (cm)

第2-8表 ウニコナゾールPの作用に対するジベレリン(GA₃)の影響 (1)

(1) (草丈と茎数)

GA ₃ 処理濃度 ($\mu\text{g L}^{-1}$)	窒素濃度(mg L^{-1})		8/9 (-11) *	
	NH ₄ -N	NO ₃ -N	草丈 (cm)	茎数 (本)
① 0	8.0	8.0	84.0 bc (100)	20.3 ab (100)
② 0	24.0	24.0	88.7 ab (106)	23.7 a (116)
③ 100	8.0	8.0	88.7 ab (106)	17.7 bc (87)
④ 100	24.0	24.0	93.0 a (111)	14.7 c (72)

* 調査日と出穂前日数

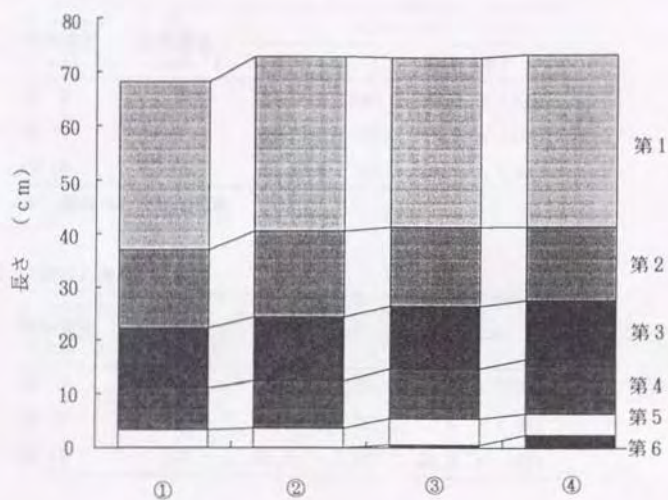
(2) (稈長と穂長)

GA ₃ 処理濃度 ($\mu\text{g L}^{-1}$)	窒素濃度(mg L^{-1})		稈長 (cm)	穂長 (cm)
	NH ₄ -N	NO ₃ -N		
① 0	8.0	8.0	68.2 b (100)	16.4 ab (100)
② 0	24.0	24.0	72.8 a (107)	17.1 a (104)
③ 100	8.0	8.0	72.4 a (106)	16.4 ab (100)
④ 100	24.0	24.0	73.1 a (107)	16.0 b (97)

(3) (穂数、平均一穂初数および株当たり総初数)

GA ₃ 処理濃度 ($\mu\text{g L}^{-1}$)	窒素濃度(mg L^{-1})		穂数	平均	株当たり
	NH ₄ -N	NO ₃ -N		一穂初数	総初数
① 0	8.0	8.0	19.3 ab (100)	57.4 (100)	1107.0 b (100)
② 0	24.0	24.0	21.7 a (112)	63.3 (110)	1364.3 a (123)
③ 100	8.0	8.0	17.0 bc (88)	65.7 (115)	1116.7 b (101)
④ 100	24.0	24.0	14.7 c (76)	71.6 (125)	1043.3 b (94)

同一アルファベットは、ダンカンの多重検定で有意差(5%)がないことを示す。
()内は、無処理を100とした指数



第2-4図 各試験区の節間長 (cm)

第2-9表 ウニコナゾールPの作用に対するジベレリン(GA₃)の影響(2)

(1) (草丈と茎数)

ウニコナゾールP 処理濃度 ($\mu\text{g L}^{-1}$)	GA ₃ 処理濃度 ($\mu\text{g L}^{-1}$)	8/10 (-10) *	
		草丈 (cm)	茎数 (本)
① 0	0	88.7 a (100)	23.0 b (100)
② 10	0	69.7 c (79)	39.3 a (171)
③ 10	100	80.3 b (91)	21.7 b (94)

* 調査日と出穂前日数

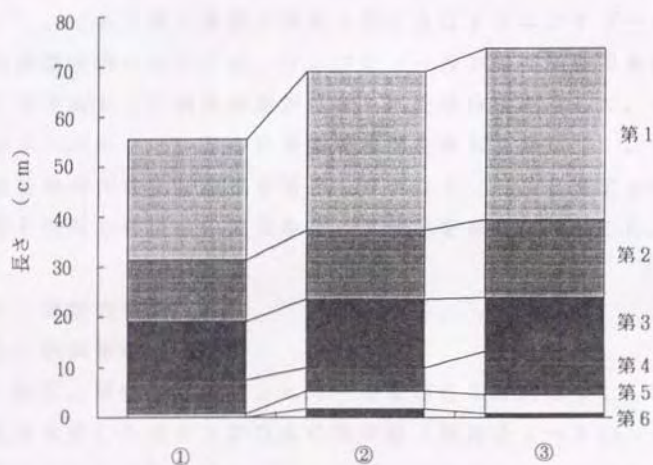
(2) (稈長と穂長)

ウニコナゾールP 処理濃度 ($\mu\text{g L}^{-1}$)	GA ₃ 処理濃度 ($\mu\text{g L}^{-1}$)	稈長 (cm)	穂長 (cm)
① 0	0	72.9 a (100)	16.6 a (100)
② 10	0	55.6 c (76)	13.6 b (82)
③ 10	100	67.3 b (92)	16.9 a (102)

(3) (穂数、平均一穂初数および株当たり総初数)

ウニコナゾールP 処理濃度 ($\mu\text{g L}^{-1}$)	GA ₃ 処理濃度 ($\mu\text{g L}^{-1}$)	穂数	平均 一穂初数	株当たり 総初数
① 0	0	22.0 b (100)	69.5 (100)	1530.0 a (100)
② 10	0	33.0 a (150)	31.7 (46)	1047.3 c (68)
③ 10	100	18.7 c (85)	73.0 (105)	1365.5 b (89)

同一アルファベット間、ダンカンの多重検定で有意差(5%)がないことを示す。
()内は、無処理区を100とした指数



第2-5図 各試験区の節間長 (cm)

第2節 幼植物の伸長生長に対する作用

窒素は水稻の栄養生長期において、同化器官である茎葉の伸長、拡大を促進し、窒素を多施用した場合は茎葉の過繁茂、稈の伸長および倒伏をもたらすので、多窒素条件下では倒伏軽減剤の短稈効果は弱まる。このように水稻の伸長生長を抑制するウニコナゾールPと促進する窒素は互いに相反する作用を持つと考えられる。水稻幼植物でもアンモニア態窒素や硝酸態窒素の伸長促進作用は認められ⁴⁹⁾、イネの第2葉鞘の伸長生長に及ぼすウニコナゾールPと窒素の影響を調べたところ、ウニコナゾールPは抑制作用を、アンモニア態窒素および硝酸態窒素はともに促進作用を示した。また、窒素はウニコナゾールPの伸長抑制程度を緩和させた⁵⁰⁾。そこでイネ幼植物の伸長生長曲線を描き、ウニコナゾールPやアンモニア態窒素を投与した場合の伸長生長パターンを相互に比較した。

1. 試験方法

1) 供試植物

24℃、暗条件下でコシヒカリの種籾を3日間催芽し、 8g/L^{-1} の寒天を充填したガラス管びんに発芽籾（鞘葉長2～3mm）を2個、鞘葉を上にして植付けた⁵⁰⁾。管びんは腰高シャーレにおさめ、24℃4000 lx.の連続照明グロースチャンバーで3日間培養した後、伸長生長の測定を開始した。

2) 伸長生長測定法

第2葉長（葉鞘長＋葉身長）を計測の対象とした。測定開始時のイネ幼植物は、第1葉から第2葉が抽出する直前であるため、測定開始時の第2葉長は第1葉長に等しい。なお測定が終了する160時間めでは第3葉が抽出し始めている。イネの第2葉鞘の伸長は主として葉鞘基部から2mmの部位で生じ、ジベレリンの処理をすると葉鞘基部から4mmの部位が著しく伸長する。また、この部分の伸長は細胞数と細胞長がともに増加することに起因すると報告されている

53)。したがって本実験では、第2葉長の伸長を測定しているが、細胞レベルでは主に第2葉鞘基部の細胞数と細胞長の増加程度を評価していることになる。

測定は25℃、2300 lx.の連続照明下で行い、測定開始から100時間めまでは1～3時間ごとに、100時間めからは12時間ごとに1分間断続的に管びん内のイネ幼植物を家庭用のビデオカメラ（ナショナルVZ-C95）で水平方向から撮影し、録画した。この操作はVHSカセットビデオレコーダー（ナショナルNV-380）の予約録画機能とタイマーを用いて、自動的に作動するようにした。

植物の生長量の計測には、差動トランス⁵²⁾や画像処理装置とパソコンを用いた生長測定システム^{53, 54)}がよく用いられるが、ここではイネ幼植物を植付けた管びんに並列させて小型のスケールを設置し、再生したモニター映像に映るスケールで第2葉長を読み取った。測定値の精度は使用するビデオカメラとモニターの解像力によって異なるが、本実験法では0.5mmであった。

イネ幼植物の映像は18インチのモニター画面（ナショナルカラーテレビTH18-C32）に収まる範囲で拡大した。拡大の程度は同時に比較する試験区の数と反復数で若干異なるが、モニター映像は実像の3～4倍になるように撮影した。また、供試するイネ幼植物の生育は必ずしも毎回同じではないので、測定時には必ず無処理区を設けたため、1回の測定で試験区の反復はとれず、1試験区1管びん、イネ幼植物2個体で行い、2つの計測値の平均を求めた。

3) 薬剤処理

測定開始時に管びん当たり所定量になるように濃度を調整し、溶液として寒天表面に200 μL 添加した⁵⁰⁾。ウニコナゾールPは50 gkg^{-1} の乳剤を水道水で希釈して、管びん当たり0.04 μg 、0.2 μg 、2 μg を処理した。アンモニア態窒素は硫酸アンモニウムで1000 μg を、ジベレリン(GA_3)は31 gkg^{-1} 顆粒剤で4 μg を処理し、それぞれウニコナゾールPとの混合処理も行った。なお、寒天表面のpHは7.2～7.5であり、いずれの薬剤処理でもほとんど変わらなかつ

たので、各処理区におけるpHの影響は無視できる。

4) 生長解析法

作物学的には相対生長率を中心とした生長関数などから作物の生産力を解析する生長解析法⁵⁵⁾があるが、ここでは植物ホルモンの影響を器官レベルで解析する方法として植物生理学分野で使われる生長解析法⁵⁶⁾に準じた。生長曲線を表す数式としてロジスティック曲線が最もよく利用されるが、ここでは伸長生長の数式モデルを作ることが目的ではないので、第2-6図に示した3つのパラメーター(生長速度、変曲点到達時間、最大生長量)で生長パターンを比較、解析した。生長速度は相関係数0.993以上の直線関係が認められる範囲の回帰線の傾きから求めた。また、等速度の伸長生長から停滞期に移り始める時間を生長曲線上の変曲点とし、ここでは等速度生長の回帰線上で相関係数が0.993未満に低下し始める時点を変曲点到達時間と定義した。生長速度と変曲点到達時間はいずれも最大生長量を規定する。

2. 結果および考察

1) ウニコナゾールPの伸長抑制作用

第2-10表にウニコナゾールPを処理したイネの伸長生長の各パラメーター値を示した。ウニコナゾールP処理量 $0.2\mu\text{g}$ までは生長速度は無処理区と同程度以上であるが、変曲点到達時間は明らかに短くなった。 $2.0\mu\text{g}$ 処理では生長速度および変曲点到達時間ともに値が小さくなった。ウニコナゾールPのイネの伸長生長に対する影響は低投与量の場合は変曲点到達時間の短縮として現れ、処理量が多い場合には生長速度の低下が同時に現れた。また、ウニコナゾールP処理によって生長速度だけが低下し、変曲点到達時間が無処理と変わらないという生長パターンを示すことはなかった。

和田ら⁵⁷⁾はキュウリの第5節間細胞の形態に及ぼすウニコナゾールPの影響を調べ、細胞数は変わらないが、表皮細胞、柔細胞ともに縦方向(重力方向)の伸長が抑制され、またウニコナゾールPの投与量が多くなり、節間短縮が著しくなると細胞数が減少するこ

とを明らかにした。つまりウニコナゾールPは器官の細胞伸長の速度を低下させる作用が強く、処理量が多い場合にはこの作用に加えて細胞増殖の速度の低下作用が現れてくると考えられる。

オートラジオグラフィでの試験結果によれば、ウニコナゾールPを根部処理した場合の茎葉部への移行時間はイネで24時間^{5,8)}、キュウリで48時間^{5,9)}であることが知られているので、変曲点到達時間とはひとつにはウニコナゾールPの細胞伸長の速度低下作用発現のタイムラグであると解釈できる。しかし、細胞数や細胞長の増加に起因する器官の伸長は生育時期や部位で異なり、ウニコナゾールPに対する感受性もそれにとまって変化することが考えられる。したがって細胞レベルまたは組織レベルで器官の生長がどのように推移するかを見極めてから、生長速度や変曲点到達時間というパラメーターの意味をあらためて考察しなければならない。

2) ウニコナゾールPの伸長抑制作用に対するアンモニア態窒素とジベレリンの影響

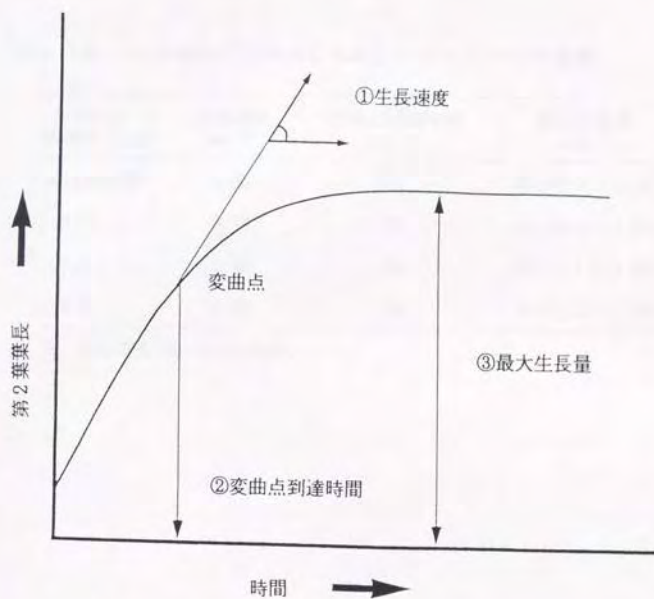
アンモニア態窒素の影響を第2-11表(各パラメーター値)、第2-7図(生長曲線)に示した。無処理区の生長速度は 0.64 mmh^{-1} 、変曲点到達時間は96時間、最大生長量は67mmであった。ウニコナゾールP処理区の生長速度は無処理区とほぼ同じであるが、変曲点到達時間は明らかに短縮され、その結果、最大生長量は無処理区より19%減少した。一方、アンモニア態窒素処理区の変曲点到達時間は無処理区と同じであるが、生長速度は明らかに増加し、最大生長量は無処理区より9%増加した。ウニコナゾールPとアンモニア態窒素の混合処理区は、最大生長量は無処理区と同じになったが、生長パターンは各単独処理の特徴を同時に備えたものであった。つまり、生長速度はアンモニア態窒素処理区並みに増加し、変曲点到達時間はウニコナゾールP処理区と同様に短縮された。混合処理をしても単独処理の生長パターンの特徴を互いに打ち消すことはなかった。このように最大生長量を促進するアンモニア態窒素と抑制するウニコナゾールPは結果として相反する作用を持つことになるが、最大生長

量を規定する両者の作用点は異なり、互いの作用を打ち消し合うものではなかった。

第2-12表にウニコナゾールPと GA_3 処理による各パラメーターの値を示した。ウニコナゾールP処理区は処理量が多く、最大生長量抑制効果が強い（抑制率61%）ので生長速度は無処理区より低下し、かつ変曲点到達時間は短縮された。一方、 GA_3 処理区の変曲点到達時間は無処理区とほぼ同じであるが、生長速度は明らかに増加し、最大生長量は無処理区よりも25%増加した。ウニコナゾールPと GA_3 の混合処理区は、生長速度および変曲点到達時間ともに各単独処理の中間の値を示した。

以上のようにウニコナゾールPは抑制率80%程度の処理量の場合には生長速度には影響せず、変曲点到達時間を短縮させて、最大生長量を抑制する。また、処理量が多く、抑制効果が強い場合は処理直後から生長速度を低下させ、同時に変曲点到達時間も短縮させて最大生長量を抑制するという2通りに作用した。一方、アンモニア態窒素や GA_3 は生長速度を促進させることがわかった。

水稻地上部のジベレリン含量は窒素欠乏条件では少なく⁶⁰⁾、窒素施用量の増加に伴って増大し、草丈の伸長と対応することが知られている⁶¹⁾。また、 GA_3 は細胞の伸長と細胞の増殖速度を促進することが示されている⁵¹⁾。したがって、アンモニア態窒素の生長促進効果の一部はジベレリン含量が増加することに起因すると推察できる。一方、アンモニア態窒素を施用したイネ幼植物は無処理よりも生長促進ホルモンであるオーキシン活性が高くなるという知見⁶²⁾もあり、植物の伸長生長に対する窒素の作用にはいくつかの生理活性物質が関与していることが示唆されている。今後、植物の伸長生長に対する窒素の作用に関しては、生理活性物質の消長や作用発現という側面から検討する必要があると思われる。



第2-6図 伸長生長の解析に用いたパラメーター

第2-10表 イネ幼植物の伸長生長に及ぼすウニコナゾールPの影響

ウニコナゾールP 処理量 (μg)	生長速度 (mm h^{-1})	変曲点到達時間 (h)	最大生長量 (mm)
0 (無処理)	0.66	100	66.5 ± 0.5 (100) *
0.04	0.73	79	60.0 ± 1.0 (90)
0.2	0.70	69	54.5 ± 1.5 (82)
2.0	0.55	38	36.0 ± 2.0 (54)

* 無処理を100 とした指数。

第2-11表 イネ幼植物の伸長生長に及ぼすウニコナゾールPとアンモニア態窒素(NH₄-N)の影響

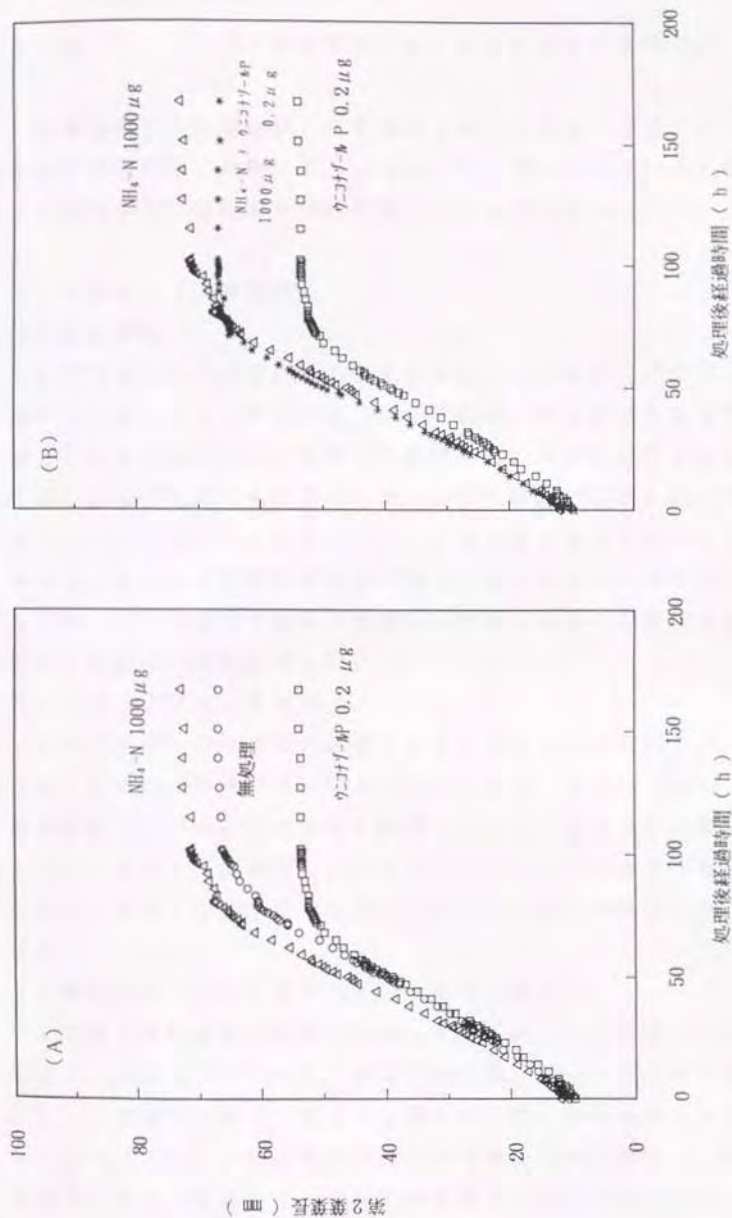
処理量 (μg)		生長速度	変曲点到達時間	最大生長量
ウニコナゾールP	NH ₄ -N	(mm h ⁻¹)	(h)	(mm)
0	0	0.64	96	67.0±1.0 (100) *
0	1000	0.73	89	73.0±2.0 (109)
0.2	0	0.60	79	54.0±5.0 (81)
0.2	1000	0.77	78	66.5±2.5 (99)

* 無処理を100とした指数。

第2-12表 イネ幼植物の伸長生長に及ぼすウニコナゾールPとジベレリン(GA₃)の影響

処理量 (μg)		生長速度	変曲点到達時間	最大生長量
ウニコナゾールP	GA ₃	(mm h ⁻¹)	(h)	(mm)
0	0	0.60	99	65.0±1.0 (100) *
0	4.0	0.78	105	81.5±3.5 (125)
2.0	0	0.53	55	39.5±0.5 (61)
2.0	4.0	0.65	88	64.0±1.0 (98)

* 無処理を100とした指数。



第2-7図 γ -グルタミン酸Pとアンモニウム態窒素($\text{NH}_4\text{-N}$)処理したイネ幼苗植物の伸長生長パターン

注) A図: 各単独処理の生長パターン、B図: 混合処理と単独処理の生長パターン

第3章 ウニコナゾールP処理をした水稻の養分吸収特性

植物体の三要素含有量、含有率および吸収量をウニコナゾールP無処理区のそれと比較することによって、ウニコナゾールP処理をして矮化した水稻の養分吸収特性について検討した。

1. 材料および実験方法

1) 耕種概要

平均気温昼28℃、夜20℃の自然光温室で、水道水だけで育苗した播種18日後のコシヒカリの苗（草丈約22cm、第3葉完全展開期）を春日井培地を基本とした水耕液に移植した。水耕液は第2章第1節に示したものと同一ものを用いた。この水耕液（3L）を0.02m²のワグネルポットに満たし、発泡スチロール製の板を苗の支持体にして、3本を1株として各株間の距離が等しくなるように4株を栽植した。その後、同じ温室内で栽培を継続し、水耕液は3日ごとに全量更新した。試験は1993年に行った。

2) ウニコナゾールP処理

ウニコナゾールP処理は移植3日後に開始し、21日間ウニコナゾールPを含む水耕液で栽培した。ウニコナゾールPは50gkg⁻¹の乳剤を希釈して10mg⁻¹の溶液を作成したのち、水耕液中の濃度が5μg⁻¹になるように調整した。なお、ウニコナゾールP溶液の添加によって水耕液のpHが変化することはなかった。試験は6反復で行った。

3) 植物体の三要素含有量および含有率の測定

まず養分吸収実験の開始に先だて、各株ごとに供試した水稻を茎葉部と根部に分け、草丈、茎葉部新鮮重、根長、根部新鮮重を測定し、1試験区24株（1ポット4株×6反復）の平均値を求めた。各ポット（4株）ごとに茎葉部および根部の乾物を調整し、乾物重を測定した後、粉碎して三要素の含有量および含有率を分析した。

4) 三要素吸収量の測定

ウニコナゾールP処理終了後、ウニコナゾールP処理区および無処理区ともに根部を軽く洗浄した後、養分吸収実験用の水耕液に移して、吸収実験を開始した。水耕液は前述した基本の水耕液を水温20℃、pH 5.6、1ポット3Lに調整した。吸収実験は、1993年3月3日（晴天日）の午前7時30分から午後5時30分の10時間行い、実験終了時の水耕液量および水耕液の三要素濃度をポットごとに測定し、実験開始時のそれらの値を差し引いて、10時間の吸収量の平均を算出した。

5) 三要素の分析法

土壌・作物体総合分析装置（SPAD SFP-2 富士平工業(株)製）を用いて、三要素を分析した^{6,37)}。

(1) 植物体の分析

①全窒素(T-N)

乾物試料を硫酸-過酸化水素でケルダール分解し、水酸化ナトリウムで中和した後、インドフェノール法で分解液中のアンモニア態窒素($\text{NH}_4\text{-N}$)量を測定した。

②アンモニア態窒素($\text{NH}_4\text{-N}$)

乾物試料を100倍量の蒸留水で10分間振とう抽出し、抽出液中の $\text{NH}_4\text{-N}$ をインドフェノール法で定量した。

③硝酸態窒素($\text{NO}_3\text{-N}$)

乾物試料に100倍量のアンモニア緩衝液(pH 11.5)を加えて、15分間振とう抽出した。抽出液中の硝酸態窒素を砂状亜鉛-アルカリ還元法で亜硝酸態窒素にした後、アゾ色素法で定量した。

④リン酸(P)

T-Nと同じ分解試料について、バナドモリブデン酸法によって分解液中のP量を測定した。

⑤カリウム(K)

乾物試料に100倍量の0.5N塩酸を加えて、30分間振とう抽出した。抽出液を蒸留水で希釈し、炎光光度法によって定量した。

(2) 水耕液の分析

植物体で実施した方法と同じ定量法で各項目について分析した。

2. 結果および考察

1) ウニコナゾールPの伸長抑制効果

第3-1表に示すように、ウニコナゾールP処理によって茎葉部は明らかに抑制された。根部は茎葉部よりも影響は小さかったが、根長や乾物重は無処理区よりもやや低くなる傾向にあった。

2) 植物体の三要素含有量および含有率

茎葉部および根部の三要素含有量と含有率を第3-2表に示した。ウニコナゾールP処理によって個体が小さくなるので、茎葉部では株当たりの含有量は無処理区よりも低くなった。一方、乾物当たりの含有率は、個体が小さく乾物が減少したために無処理区と同等以上の値を示した。根部は、茎葉部と同じ傾向にあったが、茎葉部ほど大きな差が認められなかった。

この結果は、三要素の吸収量が個体の大きさ（器官の大きさ）によって規定されたことを意味すると考えられる。また、あたかも植物体中の濃度（含有率）がほぼ一定になるように吸収されているように見えた。したがって、ウニコナゾールP処理水稻は、茎葉部が抑制される分だけ三要素の吸収量は無処理区よりも少なくなると予想された。

しかし、茎葉部のT-Nは個体が抑制されたにもかかわらず、株当たりの含有量も無処理区と同等で、含有率は明らかに高くなった（39%増加）。これは、窒素の吸収量は茎葉部が抑制されても個体としては変わらなかった結果であるが、遊離の $\text{NH}_4\text{-N}$ や $\text{NO}_3\text{-N}$ の含有量や含有率では説明できないので、例えばアミド態窒素やタンパク態窒素の含量が増加するなどの可能性が考えられる。

3) 三要素の吸収量

第3-3表に三要素の吸収量を示した。 $\text{NO}_3\text{-N}$ とKは、ウニコナゾールPによって個体（茎葉部）が小さくなるので株当たり吸収量は無処理区よりも小さくなった。また、個体新鮮重当たり吸収量も無処理区より低く、これは個体が小さくなった分よりもさらに吸収量

が低くなったことを意味すると考えられる。このようにウニコナゾールPによる $\text{NO}_3\text{-N}$ やKの吸収量の低下は、茎葉部の伸長抑制に起因するという間接的な影響と同時に、処理濃度にもよるが、直接的にウニコナゾールPが根の機能や養分吸収の生理反応に抑制的に作用する可能性が考えられた。一方、 $\text{NH}_4\text{-N}$ とPは株当たり吸収量は無処理区と同等であり、個体が小さくなる分、個体新鮮重当たり吸収量は逆に無処理区よりも高くなる傾向にあった。つまり、 $\text{NH}_4\text{-N}$ とPの吸収は、 $\text{NO}_3\text{-N}$ やKの吸収ほど個体（茎葉）の大きさに影響されないことが示唆された。

このように $\text{NO}_3\text{-N}$ やKの吸収量は茎葉部の大きさに影響され、 $\text{NH}_4\text{-N}$ やPは茎葉部の影響は少ないという特徴が認められた。これは各成分が同化される器官の違い（茎葉部または根部）を反映していると考えられる。

以上のように、ウニコナゾールPは主に茎葉部の伸長抑制をもたらすので、茎葉部の大きさの影響を受ける $\text{NO}_3\text{-N}$ やKは吸収が抑制され、 $\text{NH}_4\text{-N}$ やPの吸収は茎葉部の影響は少ないので、吸収量はほとんど変わらないことが示された。

しかし、前述した茎葉部のT-N含有率の増加は、 $\text{NH}_4\text{-N}$ と $\text{NO}_3\text{-N}$ の吸収量では説明できなかった。これについては、吸収実験開始までに行ったウニコナゾールP処理中に既に窒素の吸収量が既に増加している可能性が考えられる。ウニコナゾールP処理直後から養分吸収がどのように推移しているかについて検討する必要がある。

ウニコナゾールP処理によって生長が抑制されると、樹木葉のクロロフィル含量やN, P, Zn, Ca, Mn含量が増加することが報告されている^{64), 65)}。また、ウニコナゾールPと同じトリアゾール系化合物である殺菌剤のトリアジメノールは、クロロフィル含量を増加させると同時に茎葉の硝酸態窒素含量を増加させ、硝酸還元酵素の活性も高くなることが示されている⁶⁶⁾。

一方、生長抑制剤のメピコートクロライド処理によって茎葉部のN, P, Caが増加し、根部ではN, P, Mgが増加すること⁶⁷⁾、除草剤

のトリフルラリンでは莖葉部の含有率および含有量ともにP, K, Znは減少し、Mg, Caは増加することが知られている⁶⁸⁾。また、ウニコナゾールPと類似の矮化剤であるパクロブトラゾール処理したモモの莖葉部では、N, P, K, Fe, Moは減少し、Ca, Mg, B, Mnは増加するという報告もある⁶⁹⁾。このように植物の生長を抑制する化学物質が植物養分に及ぼす影響については必ずしも一致した結果は得られていない。これは薬剤の作用性、植物の種類や生育段階によって異なる反応が現れるためではないかと推察される。

植物の養分吸収に対する各種化学物質の影響に関する研究は古くから行われており、吸収促進物質として、PやKの吸収を促進するブドウ糖などの糖やアンモニア態窒素の吸収を促進する有機酸が知られている^{70, 71)}。また、キノン化合物はKの吸収を高める⁷²⁾。

植物ホルモン等の生長調節物質の影響については、インゲンやトウモロコシではジベレリンやサイトカイニン処理でPとFeの吸収が促進されるが、ダイズではジベレリン処理でP、Kの吸収量が減少したという例やABAでは養分吸収の促進または阻害の両者の報告があり、ここでも必ずしも一致した結果は得られていない⁷³⁾。

また、養分吸収の阻害物質としては主にP、Kの吸収を抑制する呼吸阻害剤の H_2S , DNP等があり、またタンパク合成阻害剤によってK, Na, Clなどの吸収が著しく低下することが知られている⁷²⁾。

植物の栄養状態と植物ホルモンレベルに関する知見としては、NやP欠乏条件下でABAレベルが高くなり⁷³⁻⁷⁵⁾、サイトカイニンレベルはNやP欠乏下で低くなる^{76, 77)}ことが示されている。また、ヒマワリにおいてはアンモニア態窒素よりも硝酸態窒素でサイトカイニンレベルは高いことが報告されている⁷⁸⁾。さらにPEPカルボキシラーゼやカルボニックアンヒドラーゼの遺伝子発現には窒素源である硝酸態やアンモニア態窒素またはグルタミンの添加に加えてサイトカイニンの添加が不可欠であることが知られている⁷⁹⁾。ジベレリンと植物栄養については、WilkinsonとOhki⁸⁰⁾がマンガン欠乏条件ではイソプレノイドの合成が低下し、メパロン酸からカウ

レンの合成も低下するので、Mn欠乏の程度に伴ってジベレリンレベルも低下することを明らかにした。

イオンの吸収移動における植物ホルモンや植物生長調節剤の影響に関する研究では、ヒマワリの根においてABAはKや $\text{NO}_3\text{-N}$ の導管への移動を促進すること⁸¹⁾、矮化剤パクロブトラゾールはコムギの根においてKの細胞膜透過性を高めることが示されている⁸²⁾。また、De Boerら⁸³⁾は、ミドリササゲ下胚軸切片の切断面の溢泌液のK濃度を連続測定し、IAAやフシコクシンはKの吸収速度を著しく増大させることを明らかにした。

以上のように植物生長調節物質の作用、植物の矮性の生理とその遺伝子発現⁸⁴⁻⁸⁶⁾などと植物栄養との関連については興味ある課題が多いが、多くの知見は得られていない。

第3-1表 供試植物

区名	茎葉部			根部		
	草丈 (cm)	株当たり 新鮮重 (g)	株当たり 乾物重 (mg)	根長 (cm)	株当たり 新鮮重 (g)	株当たり 乾物重 (mg)
ケコナギ-4P 処理	27.3 b	2.9 b	600 b	14.4 b	2.2 a	200 a
無処理	44.9 a	3.9 a	708 a	15.5 a	2.2 a	238 a

同一アルファベット間にはダンカンの多重検定による有意差 (5%) がないことを示す。

第3-2表 茎葉部と根部の三要素の含有率、含有量

(1) (茎葉部)

区名	株当たり含有量 (mg)				
	Total-N	NH ₄ -N	NO ₃ -N	P	K
ニコチン-MP 処理	28.83 a	0.43 b	0.74 b	3.46 a	21.27 b
無処理	27.43 a	0.58 a	1.15 a	4.25 a	30.43 a

区名	乾物当たり含有率 (g kg ⁻¹)				
	Total-N	NH ₄ -N	NO ₃ -N	P	K
ニコチン-MP 処理	48.40 a	0.70 a	1.24 a	5.78 a	35.40 a
無処理	34.70 b	0.73 a	1.48 a	5.58 a	38.40 a

(2) (根部)

区名	株当たり含有量 (mg)				
	Total-N	NH ₄ -N	NO ₃ -N	P	K
ニコチン-MP 処理	7.50 a	0.26 a	1.31 a	0.88 a	5.58 a
無処理	8.28 a	0.36 a	1.38 a	0.95 a	6.02 a

区名	乾物当たり含有率 (g kg ⁻¹)				
	Total-N	NH ₄ -N	NO ₃ -N	P	K
ニコチン-MP 処理	37.30 a	1.41 a	6.55 a	4.43 a	30.00 a
無処理	35.30 b	1.52 a	5.79 a	3.85 b	25.50 b

同一アルファベット間にはダンカンの多重検定による有意差 (5%) がないことを示す。

第3-3表 三要素吸収量（午前7:30～午後5:30までの10時間当たり）

区名	株当たり吸収量 (mg)			
	NH ₄ -N	NO ₃ -N	P	K
ウニコナーAP 処理	1.37 a	1.64 b	0.49 a	0.88 b
無処理	1.45 a	2.50 a	0.51 a	1.25 a

区名	個体新鮮重当たり吸収量 (μg)			
	NH ₄ -N	NO ₃ -N	P	K
ウニコナーAP 処理	273 a	321 b	98 a	174 a
無処理	233 a	413 a	85 a	205 a

同一アルファベット間にはダンカンの多重検定による有意差（5%）がないことを示す。

第4章 ウニコナゾールP入り肥料の効果と水田における挙動

第1節 ウニコナゾールP入り肥料の効果とコシヒカリの草型および群落構造に及ぼす影響

1. 材料および実験方法

1) 供試した倒伏軽減剤入り肥料

穂肥用の14-2-17 ($\text{N-P}_2\text{O}_5\text{-K}_2\text{O}$, 10^{-2}kgkg^{-1}) の速効性の化成肥料にウニコナゾールPを 50mgkg^{-1} 添加したもの (SDF-21と称する) を用いた。SDF-21の成分量は、ha当たり製品200kgで窒素は28kg、ウニコナゾールPは約10%の短稈化を目標に設定された基準量の1.0gが施用できるように設計されている。以後の実験で用いた倒伏軽減剤入り肥料は、すべてSDF-21である。

2) 耕種概要

試験は住友化学宝塚総合研究所加西試験農場 (兵庫県加西市) の水田圃場 (中粗粒灰色低地土壤灰褐色系、埴壤土) で行なった。品種はコシヒカリを用い、播種20日後の苗を毎年6月20日に、1株4~5本、 m^2 当たり18.5株 (条間30cm、株間18cm) で機械移植した。

3) 実験1 SDF-21の効果

(1) 試験区

施肥設計を第4-1表に示した。SDF-21の施用量は現物 200kg ha^{-1} (N成分量 28kg ha^{-1} 、ウニコナゾールP量 10g ha^{-1}) で出穂24日前に行った。比較としてSDF-21と同日に同量のウニコナゾールP無添加の化成肥料を施用した「対照区」、それを出穂18日前に施した「慣行区」を設けた。試験は1990年に、1区 16m^2 ($4 \times 4\text{m}$)、3反復で行った。出穂は平年よりも1日早まり、8月19日であった。収穫は9月27日に行った。

(2) 調査方法

① SDF-21の短稈効果、倒伏軽減効果および収量性への影響

・短稈効果

6株を任意に抽出し、1株ごとに平均稈長に相当する2本を選んだ。選抜した12本の稈長および節間長を測定し、平均値を算出した。

・倒伏軽減効果

倒伏程度の観察は、直立を0、完全倒伏を4とした5段階法で行い、一区内での各倒伏段階の面積から一区ごとに平均倒伏程度を求め、平均値で比較した。

・収量および収量構成要素

各区60株（6列、各列10株）を手刈りして、精玄米重（粒厚1.8mm以上）と収量構成要素を調査した。

②玄米の粒厚分布

各試験区ごとに精玄米を調整した後、ふるいにかけて粒厚分布を調査した。また、1.8mm以上の精玄米について任意に50粒を選抜して玄米の長さや幅を調査した。

③上位葉の葉面傾斜角度

8月22日と8月29日（出穂3日後および10日後）に上位第1葉（止葉）、第2葉の葉面傾斜角度を調査した。葉面傾斜角度とは穂軸と葉身のなす角度のことであり、測定は任意に選んだ20本について行った。なお、止葉については葉身長と葉幅を測定した。

4) 実験2 群落構造の変化の解析

（1）試験区

施肥設計を第4-2表に示した。SDF-21の施用は出穂25日前に行った。群落の比較は同じ栽培条件下で行う必要があるため、SDF-21と同日に同量の肥料のみを施用した「対照区」と対比した。試験は1991年に1区面積200m²で行った。出穂は8月20日で、平年並みであった。

（2）群落構造の調査

調査は曇天であった8月22日（出穂2日後）に行った。一辺0.5mの正方形枠内で、群落内部の照度を地表からの高さ10cmごとに20回測定し、測定値を平均した。続いて同じ10cmごとに層別に刈取り、同化器官（葉身）と非同化器官（葉鞘、稈、穂、枯葉）に分けて乾

物重を測定した。調査は試験区内の3か所について行った。

5) 実験3 ウニコナゾールPによる上位葉直立化現象の要因解析

(1) 試験区

0.02m²のワグネルポットを用いて屋外で行った。実験2と同じ苗を同日に、ポット当たり3本を移植した。土壌は灰色低地土壌、砂壌土を用い、基肥はポット当たり窒素成分で60mgを15-15-15(N-P₂O₅-K₂O, 10⁻²kgkg⁻¹)の化成肥料で施用した。追肥は出穂前15日にポット当たりN成分で40mgを14-2-17の肥料で施した。ウニコナゾールP(400mgkg⁻¹粒剤)は、出穂15日前、または出穂日(0日)にポット当たり成分60μgを湛水深3cmに保ち、土壌表面施用した。また、ウニコナゾールPを出穂15日前に施用した後、出穂日にジベレリン(GA₃, 31gkg⁻¹顆粒剤)成分20mg L⁻¹の水溶液にして1株当たり30mLを茎葉散布した。なお、試験は5反復で行った。

(2) 調査方法

出穂7日後に実施し、1株の中から平均稈長に相当する穂を株当たり6本選抜し、稈長、止葉と第2葉の葉面傾斜角度、葉身長および葉鞘長を測定し、平均値を算出した。

2. 結果および考察

1) 実験1 SDF-21の効果

(1) SDF-21の短稈効果、倒伏軽減効果および収量性への影響

SDF-21の施用によって第4節間を中心に節間が短縮されて短稈化し、倒伏が軽減された(第4-3表)(写真4-1, 4-2)。一方、対照区では稈長が伸び、早期に倒伏した。瀬古⁸⁷⁾は倒伏防止には、モーメント(穂と稈の長さの合計×重さ)を小さくすることはもちろん、下位節間の伸長、脆弱化の防止が必要であると述べている。また、「理想型」の稲⁸⁸⁾では稈長が85cm程度までを安全稈長の目安とし、下位の2~3節間が短く、第1節間は稈長の半分くらいを占めるのがよいとされている⁸⁹⁾。SDF-21は下位節間を短縮して、モーメントを小さくするので、瀬古や理想型の稲作りで指摘されている倒伏軽減に必要な条件をみたした。

穂数は対照区よりSDF-21区の方が多い傾向にあり、対照区を「長稈穂重型」とするならば、SDF-21区はいわば「短稈穂数型」に近い草型になった。

精玄米重はSDF-21区と慣行区で統計的に有意な差は認められなかったが、増収傾向にあった。それはSDF-21区では m^2 当たり総収量が増加して、なお登熟度（登熟歩合×千粒重）が維持されたことに基づいている。対照区では早期の倒伏によって登熟度が低下したため、精玄米重は慣行区より劣った。

（2）玄米の粒厚分布

慣行区よりもSDF-21区で粒張りは良くなり、対照区では悪くなった（第4-4(1)表）。この粒張りの向上は主にSDF-21による登熟向上に起因すると考えられる。一方、玄米の長さとは幅には差がなかった（第4-4(2)表）。松本⁹⁰⁾はコシヒカリについて外観品質と食味の関係を検討し、外観品質の劣る玄米（粒厚の薄い玄米）ほど全窒素含量が高く、デンプン含量が少ないことを示した。また、食味の低下は粒厚が薄い不完全粒およびくず米の混入の影響が大きく、従来考えられていた玄米成分よりも外観品質が食味評価にとって重要であると指摘した。したがって、SDF-21による玄米の粒張りの向上は食味の向上につながり、良質米の生産に有利であると考えられる。なお、半矮性遺伝子 *sd-1* は丸みを帯びた玄米を作る性質があると推定されており⁹³⁾、SDF-21による玄米の粒張りの向上は矮性化と密接な関係があると考えられる。

（3）上位葉の葉面傾斜角度と葉長、葉幅

調査結果を第4-5表に示した。SDF-21の施用によって止葉と第2葉の葉面傾斜角度は対照区および慣行区に比べて鋭角になり、上位葉の直立化が認められた。本実験では、止葉葉長はSDF-21によってやや短くなったが、関東以西のコシヒカリについて実施された試験例のまとめでは慣行区と同等であった（第4-1図）。なお、葉幅に差は認められなかった。

倒伏防止網で強制的に直立させた区（強制直立区）とSDF-21

区および対照区の収量を比較した場合、慣行区に対する収量の増加割合は、SDF-21区で15%であったが、強制直立区は6%、対照区は4%であったという結果が得られている⁹¹⁾。このように倒伏しやすい対照区の稲を強制的に直立させても収量があまり向上しないのは、直立していても幼穂形成期（出穂25日前頃）の穂肥で過繁茂や葉身の下垂で受光態勢が悪くなるためであると思われる。したがって、SDF-21区の収量の増加割合が高いのは上位葉の直立化による受光態勢の改善効果が寄与していると考えられる。つまりSDF-21施用による収量の増加は、主に幼穂形成期の穂肥による総粒数の増加と倒伏軽減効果による登熟度の維持または向上に起因し、また上位葉の直立化による受光態勢の改善効果は、増加した総粒数を維持するのに十分な登熟の向上を、つまり総粒数の適正限界の向上をもたらす大きな要因になっている。

水稻の品種育成は耐倒伏性と多収性が重視され、長稈穂重型品種から、草丈が短く、分けつ数の多い短稈穂数型品種に推移し、最近の短稈穂数型品種は一般に受光態勢がよい^{92), 93)}。また、禾穀類の半矮性化は世界的な育種の趨勢であり、日本でも突然変異品種のレイメイや在来品種の十石、およびこれらを母本とする品種も半矮性遺伝子 *sd-1* を持つことが明らかにされた^{94), 95)}。この半矮性遺伝子は緑の革命の奇跡のイネやハイブリッドライスの両親の品種にも利用されている⁹⁶⁾。SDF-21によってコシヒカリの草型を、いわば安定多収に有利な短稈穂数型に近づけることができ、しかも受光態勢の改善効果が期待できるので、SDF-21の施用技術は矮性品種を育種的な方法ではなく、ケミカルコントロールによって作出する新しい方法であると考えられる。

一方、総粒数の確保、倒伏の防止および登熟の向上のための生育中期の管理は、従来から主として水管理や窒素の分施肥といった水稻の生育環境の制御によって行われてきた⁹⁷⁾。SDF-21の施用によって、従来の生育環境の制御ではなく、水稻自らに作用して生育を制御できるので、SDF-21は例えば松島の「理想型」の稲⁹⁸⁾

を作るための新しい方法ともいえる。また、村山⁹⁸⁾は施肥法によって作物の生育を任意に調整できるので、施肥法はまさに作物生育のケミカルコントロール技術であると述べている。SDF-21は、肥料自体に機能を付与すること（倒伏軽減剤の添加によって水稻の生育を制御するという機能を付与すること）によって、コシヒカリで幼穂形成期（出穂25日前頃）の穂肥が施せるという新しい施肥法が構築できるので、施肥法のケミカルコントロール技術としての性能をさらに高めることが可能になる。

2) 実験2 群落構造の変化の解析

第4-2図に各区の生産構造図を示した。SDF-21による短稈化に伴って同化器官の分布位置が下がった。相対照度が50%になる群落の高さは、対照区で地表から約75cm、SDF-21区で約45cmであり、同化器官の多く分布する層（対照区は地表から50~70cm、SDF-21区では30~60cm）への光の透過量はSDF-21区が対照区よりも多かった。このようにSDF-21区は受光態勢が悪くなると言われている出穂25日前の穂肥を施用した対照区と同じ施肥（量と時期）をしたにもかかわらず、対照区よりも受光態勢の良い群落構造になった。これは実験1で示したSDF-21施用による上位葉の直立化に基づくものと思われる。田中ら⁹⁹⁾は日本晴を用いて通常の直立葉群落と葉身の先端に重りを取り付けた湾曲葉群落の群落構造を比較し、生産構造図を示している。SDF-21区は田中らの直立葉群落と、対照区は湾曲葉群落と構造が同じであった。

光合成や物質生産には葉層の深部まで光が透過しやすくなる直立葉をもつ群落が有利である。そのため、葉の立った品種を育成すること、立った葉をもつ群落を栽培的な手法を通じて作り出すことが多収を実現する鍵とされている¹⁰⁰⁾。また、林と伊藤¹⁰¹⁾は水稻の群落吸光係数と形態的性質との相関を調べた結果、短稈、直立葉および薄葉という組み合わせが物質生産に有利で、特に短稈の有利性は短稈なほど葉が立ちやすいことに起因することを示した。以上の知見から、SDF-21施用によって短稈化し、上位葉が直立して受

光態勢が改善されることは、群落の光合成と物質生産に有利な変化であるといえる。

3) 実験3 ウニコナゾールPによる上位葉直立化現象の要因解析

第4-6表に示すように、葉身の直立化は出穂15日前のウニコナゾールP施用で明らかに認められた。また、出穂日施用では短稈化や葉鞘長の短縮化がなく、無処理区と形態的な差がないにもかかわらず、葉身の直立化は認められた。一方、葉身の直立化はジベレリン処理で解除され、同時にウニコナゾールPによる形態変化(短稈化と葉鞘の短縮化)も回復した。しかし、葉鞘の短縮化のない第2葉でもジベレリンで直立化は解除されるので、ジベレリンによる直立化の解除は、必ずしも形態変化の回復に基づくものではないことが示された。なお、いずれの処理区でも葉鞘長の短縮は明らかであったが、葉身長に差は認められなかった。葉鞘は節間基部の伸長部位を包むことによってジベレリンなどの生成を高め、節間の伸長を司る¹⁰²⁾器官であることが指摘されており、ウニコナゾールPに対する反応は葉身と葉鞘とでは異なるのではないかと思われる。

以上の結果からSDF-21のウニコナゾールPによる上位葉の直立化は、短稈化や葉鞘の短縮化などの形態に対する直接的な影響というよりも、ジベレリンの作用が関与する内生的な影響であると考えられた。ウニコナゾールPを施用した水稲では内生ジベレリン含量の低下と同時にエチレン生成量とサイトカイニン含量が増加することが知られている¹⁸⁾。また、前田¹⁰⁵⁾はオーキシシン活性を示す2,4-D処理で水稲の葉身傾斜角度の増大が認められることを明らかにしている。さらに新植物生長物質ブラシノライドはイネのラミナジョイントテストで強い活性を示し、葉身の傾斜が起こる¹⁰⁴⁾。このようにウニコナゾールPによる上位葉の直立化現象は、いくつかの植物ホルモンが関与している可能性が考えられる¹⁰⁵⁻¹⁰⁷⁾。

第4-1表 試験区と施肥設計 (実験1)

(N·kg ha⁻¹)*1

区名	基肥	穂 肥				穂揃期追肥	
		7/26 (-24)*2	8/1 (-18)	8/5 (-14)	8/15 (-4)	6/22 (+3)*3	総量
SDF-21	40	28*4	—	20	20	—	108
対照区	40	28	—	20	20	—	108
慣行区	40	—	20	—	—	20	80

*1 窒素施用量についてのみ示した。基肥では P₂O₅ および K₂O は各区とも窒素と同量を施用。穂肥および穂揃期追肥は所定の窒素施用量になるように、いずれも 14-2-17 の化成肥料で施用した。

*2 日付と出穂前日数。

*3 日付と出穂後日数。

*4 SDF-21 で施用。ウニコナゾール P 施用量は 10 g ha⁻¹。

第4-2表 試験区と施肥設計 (実験2)

(N·kg ha⁻¹)*1

区名	基肥	穂 肥		総量
		7/26 (-25)*2	8/9 (-11)	
SDF-21	30	28*3	20	78
対照区	30	28	20	78

*1 窒素施用量についてのみ示した。基肥では P₂O₅ および K₂O は各区とも窒素と同量を施用。穂肥は所定の窒素施用量になるように 14-2-17 の化成肥料で施用した。

*2 日付と出穂前日数。

*3 SDF-21 で施用。ウニコナゾール P 施用量は 10 g ha⁻¹。

第4-3表 SDF-21の短得効果、個体軽減効果および収量性への影響

(その1) 短得効果

区名	稈長 (cm)	節 間 長 (cm)				穂長 (cm)
		第1	第2	第3	第4	第5
SDF-21	79.9 ^c (89)	36.9 ^{bc} (97)	18.8 ^c (91)	15.0 ^c (88)	6.5 ^b (63)	2.7 ^{ab} (77)
対照区	90.6 ^a (101)	38.3 ^a (101)	21.1 ^a (105)	17.8 ^a (105)	9.8 ^a (95)	3.2 ^{ab} (91)
慣行区	89.3 ^{ab} (100)	38.0 ^{ab} (100)	20.7 ^b (100)	17.0 ^{ab} (100)	10.3 ^a (100)	3.5 ^a (100)

同一アルファベット間には、ダンカンの多重検定による有意差(5%)がないことを示す。

() 内は、慣行区を100とした指数。

(その2) 個体軽減効果

区名	9/12 ^{a1} (+24)	9/14 (+26)	9/17 (+29)	9/27 (+39)
SDF-21	0.5 ^{a1}	0.8	2.2	3.3
対照区	1.3	2.2	3.0	3.8
慣行区	1.0	1.7	3.0	3.8

*1 日付と出穂後日数。

** 0 (直立)~4 (完全倒伏)の5段階評価。

(その3) 収量および収量構成要素

区名	精玄米重 (kg ha ⁻¹)	穂数 (本 m ⁻²)	一穂粒数	m ² 当たり 総粒数 (×10 ³)	登熟歩合 (10 ⁻³ kg kg ⁻¹)	千粒重 (10 ⁻³ kg)	登熟度 (登熟歩合×千粒重)
SDF-21	5450 ^a (103)	495 ^a (111)	80 ^{ab} (100)	397 ^a (111)	74 ^a (109)	21.4 ^{ab}	1584 ^a (107)
対照区	4410 ^c (83)	442 ^a (99)	88 ^a (109)	389 ^a (108)	62 ^b (90)	21.1 ^b	1306 ^b (88)
慣行区	5290 ^{ab} (100)	449 ^a (100)	80 ^{ab} (100)	359 ^a (100)	68 ^{ab} (100)	21.8 ^a	1482 ^{ab} (100)

同一アルファベット間には、ダンカンの多重検定による有意差(5%)がないことを示す。

() 内は、慣行区を100とした指数。

第4-4表 (1) 玄米の粒厚分布 (%)

区名	粒厚 (mm)						
	<1.6	1.4~1.6	1.6~1.8	1.8~2.0	2.0~2.2	2.2~2.4	2.4<
SDF-21	1.4	3.1	3.5	30.1	44.7	16.9	0.1
対照区	1.0	3.5	5.3	39.5	48.9	1.8	0.0
慣行区	0.8	3.1	4.0	31.7	57.0	3.4	0.0

第4-4表 (2) 各試験区の玄米の長さ幅 (mm)

区名	長さ	幅
SDF-21	5.19 a	2.87 a
対照区	5.14 a	2.81 a
慣行区	5.23 a	2.82 a

粒厚1.8mm以上の精玄米について調査。
同一アルファベット間には、ダンカンの多重検定
による有意差(5%)がないことを示す。

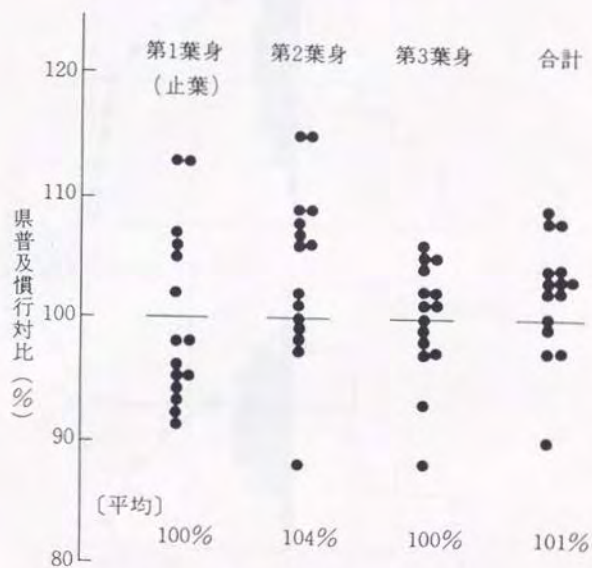
第4・5表 上位第1葉(止葉), 第2葉の葉面傾斜角度および止葉葉身の葉長, 葉幅

区名	葉面傾斜角度*1 (rad)				止葉葉身の葉長 (cm)		止葉葉身の葉幅 (cm)	
	+3**		+10		+3	+10	+3	+10
	止葉	第2葉	止葉	第2葉				
SDF-21	0.22 ^b	0.19 ^c	0.44 ^b	0.27 ^b	30.7 ^b	30.1 ^b	1.3 ^a	1.3 ^a
対照区	0.28 ^a	0.23 ^b	0.58 ^a	0.46 ^a	34.5 ^a	33.8 ^a	1.3 ^a	1.3 ^a
慣行区	0.29 ^a	0.28 ^a	0.53 ^a	0.44 ^a	33.0 ^a	33.0 ^a	1.2 ^b	1.2 ^b

*1 葉身と穂軸のなす角度.

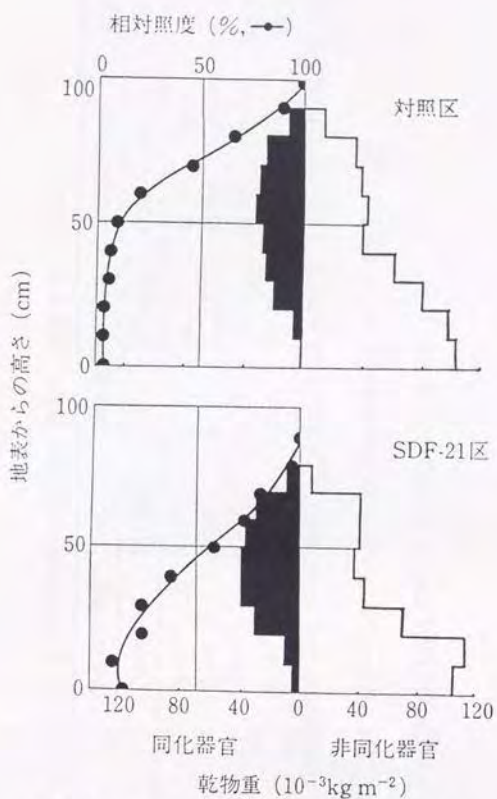
*2 出穂後日数.

同一アルファベット間にはダンカンの多重検定による有意差(5%)がないことを示す.



第4-1図 SDF-21 の葉身長への影響

(1986~90年の委託試験成績15点のまとめ, SDF-21の施用量は 200kg ha^{-1})



第4-2図 SDF-21区と対照区の生産構造図
 同化器官とは葉身, 非同化器官とは葉鞘,
 稈, 穂, 枯葉のこと。

第4-6表 上位第1葉（止葉）と第2葉の葉面傾斜角度、葉身長、葉鞘長および稈長

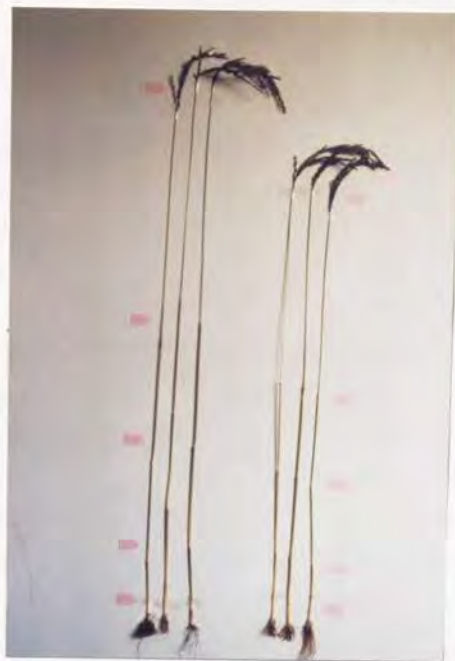
区 名*	葉面傾斜角度** (rad)		葉身長 (cm)		葉鞘長 (cm)		稈長 (cm)
	止葉	第2葉	止葉	第2葉	止葉	第2葉	
ウニコナゾールP -15 施用	0.49 ^b * ³	0.24 ^b ^c	26.9 ^a	44.2 ^a	43.1 ^c	34.2 ^b	47.2 ^c
ウニコナゾールP 0 施用	0.48 ^b	0.20 ^c	26.9 ^a	44.1 ^a	53.4 ^b	39.5 ^a	60.2 ^b
ウニコナゾールP -15 施用+ジベレリン	0.62 ^a	0.50 ^a	26.5 ^a	43.1 ^a	59.5 ^a	33.8 ^b	68.5 ^a
無処理	0.55 ^a ^b	0.27 ^b	27.4 ^a	44.2 ^a	52.9 ^b	38.6 ^a	59.2 ^b

*1 ウニコナゾールPは、400 mg kg⁻¹ 粒剤で出穂前15日（-15 施用）および出穂日（0 施用）に0.02 m² のワグネルポット当たり成分 60 μg を湛水土壌表面処理した。

ジベレリン (GA₃) は、31 g kg⁻¹ 顆粒剤で出穂日に成分 20 mg L⁻¹ 水溶液を株当たり 30 mL 茎葉散布した。

*2 葉身と穂軸のなす角度。

*3 同一アルファベット間にはダンカンの多重検定による有意差（5%）がないことを示す。



慣行区 SDF-21

写真4-1 SDF-21のコシヒカリの短稈効果

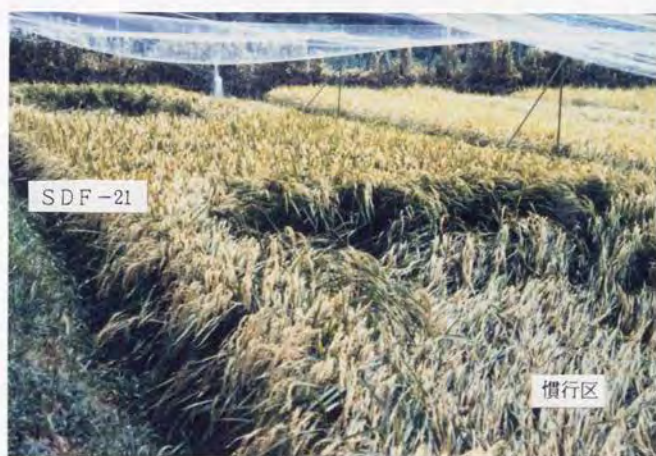


写真4-2 SDF-21のコシヒカリの倒伏軽減効果

第2節 酒米「山田錦」に対するウニコナゾールP入り肥料の効果

酒造好適米品種である山田錦は、稈長が1 m以上の長稈であり、コシヒカリやササニシキと同様に倒伏が問題になっている。そこで山田錦に対する倒伏軽減剤入り肥料(SDF-21)の効果(短稈効果、倒伏軽減効果、収量性への影響および玄米品質への影響)について検討した。

1. 材料および実験方法

1) 耕種概要

試験は住友化学宝塚総合研究所加西試験農場(兵庫県加西市)の水田圃場(中粗粒灰色低地土壌灰褐色系、埴壌土)で行った。播種25日後の苗を1992年6月8日に、1株4~5本、 m^2 当たり18.5株(条間30cm、株間18cm)で機械移植した。

2) 試験区

施肥設計を第4-7表に示した。SDF-21の施用量は出穂23日前に現物 $200kg/ha^{-1}$ (N成分量 $28kg/ha^{-1}$ 、ウニコナゾールP量 $10g/ha^{-1}$)を、また出穂10日前に現物 $100kg/ha^{-1}$ (N成分量 $14kg/ha^{-1}$ 、ウニコナゾールP量 $5g/ha^{-1}$)を施用した。比較としてSDF-21と同日に同量の化成肥料(ウニコナゾールP無添加)を施用した「対照区」と慣行肥料(みのり有機、12-6-12)で慣行量を施した「慣行区」を設けた。試験はSDF-21区は $450m^2$ 、対照区と慣行区は $250m^2$ で行った。なお、基肥と早期追肥は慣行肥料(山田錦化成、12-14-16)で施用した。出穂は8月28日、収穫は10月7日に行った。

3) 調査方法

(1) 短稈効果

各試験区を4等分に分割し、それぞれの分割区から任意に5株を抽出した。さらに1株ごとに平均稈長に相当する2本を選び、選抜した40本の稈長および節間長を測定し、平均値を算出した。

(2) 倒伏軽減効果

倒伏程度の観察は、直立を0、完全倒伏を4とした5段階法で行い、分割区内での各倒伏段階の面積から分割区ごとに平均倒伏程度を求め、その平均値を試験区の倒伏程度とした。

(3) 収量および収量構成要素

各分割区から20株(5株4列)を手刈りして精玄米重(粒厚2.0mm以上)と収量構成要素を調査した。分割区の平均値を算出して、試験区ごとに比較した。

(4) 原料米の物理的性質(粒厚分布と心白発生粒歩合)

各分割区から得られた精玄米を等量ずつ混合して試験区ごとの精玄米を調整した後、ふるいにかけて粒厚分布を調査した。また、各試験区の精玄米から100粒ずつを4回抽出し、心白粒の割合を調べて平均値を求めた。

(5) 原料米の化学的性質(原料米の化学分析)

SDF-21区と慣行・対照区(両区の精玄米を等量ずつ混合して調整)の玄米について、75%または50%の精米歩合を目標に精米した。日本醸造協会の原料米の統一分析法¹⁰⁸⁾に準じて、この白米の真精米歩合、水分、吸水性、消化性、粗タンパク含量およびカリウム含量について分析した。

2. 結果および考察

1) SDF-21の短稈効果、倒伏軽減効果および収量性への影響

第4-8表に示すように、SDF-21の施用によって主に第3と第4節間を中心に節間が短縮されて短稈化し、倒伏が軽減された。一方、対照区では稈長が伸び、倒伏は慣行区よりも大きくなった。

SDF-21の施用によって増収する傾向が認められた。収量と収量構成要素は別々にサンプリングして測定したので、両者の増加程度が必ずしも一致していないが、兵庫県の山田錦の平均収量は $440 \sim 460 \text{ kg ha}^{-1}$ である¹⁰⁹⁾ので、約30%の増収が図れたことになった。この増収は登熟歩合の向上に起因した。これは前節で示したSDF-21の倒伏軽減効果と上位葉の直立化による受光態勢の改善効果によるものと考えられる。一方、穂数は明らかに増加したが、一穂初

数が少なくなったため、前節のコシヒカリの場合のような総粒数の増加は認められなかった。

2) 原料米の物理的性質（粒厚分布と心白発生粒歩合）

第4-9表に粒厚分布と心白発生粒歩合を示した。慣行区よりもSDF-21区で粒張りは良くなり、対照区では悪くなった。この粒張りの向上は主にSDF-21の登熟向上効果に起因すると考えられる。また、心白発生粒歩合もSDF-21区で向上した。酒米は大粒で心白のものが醸造適性に優れるので^{110, 111)}、SDF-21の施用によって山田錦の醸造適性が向上することが示された。

3) 原料米の化学的性質（原料米の化学分析）

第4-10表に各項目の分析値を示した。SDF-21区と慣行・対照区に大きな差は認められなかった。一般に山田錦の原料米（75%精米）の吸水性は20分浸漬で27~29%、消化性は直接還元糖含量10%前後、粗タンパク含量は5%弱であり¹¹¹⁾、また酒米研究会が平成4年産の山田錦28点（兵庫：14点、熊本：5点、茨城：2点、三重：2点、山口、徳島、福岡、佐賀、大分：各1点）について行った分析結果（75%精米の場合）の平均値からみても、両区ともに平均的な範囲にあった。ただし、本試験の白米は水分がやや高く、吸水性もやや低い傾向にあった。

以上のようにSDF-21の施用によって山田錦の収量性の向上および原料米品質の向上が図れることが示された。ただし、倒伏軽減効果を過度に期待して収量を上げるためにSDF-21を用いて多肥管理をすると玄米のタンパク含量が増加して、原料米の品質を低下させることになるので、収量と品質確保のためのSDF-21の施用量、施用時期を検討する必要がある。

第4-7表 試験区と施肥設計

(N・kg ha^{-1}) *1

区名	基肥	早期 追肥 6/22	穂肥		総量
			8/5(-23) *2	8/18(-10)	
SDF-21	12	20	28 *3	14	74
対照区	12	20	28	14	74
慣行区	12	20	18	12	62

*1 窒素施用量についてのみ示した。基肥および早期追肥は12-14-16の化成肥料を、穂肥には14-2-17 (SDF-21および対照区) または12-6-12 (慣行区) の化成肥料を用いた。

*2 日付と出穂前日数

*3 SDF-21で施用。ウニコナゾールP施用量は 10gha^{-1} (8/5) および 5gha^{-1} (8/18)。

第4-8表 SDF-21の短穂効果、倒伏軽減効果および収量性への影響

(その1) 短穂効果

区名	穂長 (cm)	節間長 (cm)					穂長 (cm)
		第 1	第 2	第 3	第 4	第 5	
SDF-21	77.0 (84)	40.0 (98)	16.4 (79)	11.1 (68)	5.6 (60)	3.6 (82)	19.4 (103)
対照区	95.1 (104)	41.4 (103)	23.2 (112)	16.8 (104)	9.7 (104)	3.6 (82)	19.1 (101)
慣行区	91.2 (100)	40.3 (100)	20.7 (100)	16.1 (100)	9.3 (100)	4.4 (100)	18.9 (100)

()内は、慣行区を100とした指数。

(その2) 倒伏軽減効果

区名	9/15 (+18)	9/22 (+25)	9/28 (+31)	10/6 (+39)
SDF-21	0 ^{※1}	0	0.1	0.1
対照区	0	0.5	1.8	1.9
慣行区	0	0.1	1.3	1.3

※1 日付と出穂後日数

※2 0(直立)~4(完全倒伏)の5段階評価

(その3) 収量および収量構成要素

区名	精玄米重 (kg ha ⁻¹)	穂数 (本 m ⁻²)	一穂初数	m ² 当たり 穂数 (×10 ³)	登熟歩合 (10 ⁻² kg kg ⁻¹)	千粒重 (10 ⁻³ kg)	登熟度 (登熟歩合×千粒重)
SDF-21	5720 (114)	456 (111)	66.6 (88)	304 (98)	90.6 (104)	27.2 (99)	2464 (103)
対照区	4310 (86)	431 (105)	72.4 (96)	312 (101)	83.8 (96)	27.2 (99)	2279 (95)
慣行区	4990 (100)	410 (100)	75.4 (100)	309 (100)	87.4 (100)	27.4 (100)	2391 (100)

()内は、慣行区を100とした指数。

第4-9表 玄米の粒厚分布と心白粒発生歩合

(その1) 粒厚分布 (%)

区名	粒厚 (mm)					
	<1.6	1.6~1.8	1.8~2.0	2.0~2.2	2.2~2.4	2.4<
SDF-21	0.4	1.3	6.3	39.1	52.2	0.7
対照区	0.5	1.9	9.0	43.2	44.9	0.6
慣行区	0.6	1.1	6.9	42.3	49.1	0.1

(その2) 心白発生粒歩合 (%)

	心白発生粒歩合 (%)
SDF-21	87.7±0.5
対照区	80.7±0.5
慣行区	82.3±0.9

粒厚 2.0mm以上の玄米について調査。

第4-10表 原料米の化学分析

精米歩合	区名	真精米歩合 (%)	水分 (10gkg ⁻¹)	吸水性			消化性		粗タケの 含量 (10gkg ⁻¹)	カルシウム 含量 (mgkg ⁻¹)
				吸水率(10gkg ⁻¹)	20分 浸漬 ^{*1}	120分 浸漬 ^{*1}	直接 還元糖 ^{*2} (10g l ⁻¹)	744-4 窒素 ^{*3} (ml)		
75 %	SDF-21	76.1	14.0	24.3	25.1	40.1	10.2	2.0	4.6	355
	対照・慣行	77.6	14.3	24.2	25.3	40.7	10.4	1.8	4.0	305
50 %	SDF-21	63.6	13.0	31.3	32.2	54.5	10.0	2.0	2.0	350
	対照・慣行	57.1	13.5	33.3	33.9	55.3	10.2	1.8	1.8	400
山田錦の平均値 (酒米研究会) ^{*4}										
			13.7	27.7	29.0	38.4	10.0	2.0	5.0	404

*1 浸漬20分の吸水率が吸水速度を、120分の吸水率が最大吸水率を表す。

*2 蒸米を酵素緩衝液で糖化させて得られたろ液中の還元糖濃度。糖の定量法はレーンの逆滴定法。

*3 蒸米を酵素緩衝液で糖化させて得られたろ液中のアミノ酸度。規格化された所定分析法 (フォルモール滴定法) の滴定に要した 0.1N NaOHの容量として表示。

*4 酒米研究会が平成4年度の山田錦28点について行った分析結果の平均値 (75%精米の場合)

第3節 ウニコナゾールP入り肥料の成分の挙動

農薬入り肥料は、施肥と施薬が同時に行え、作業の省力化が図れるという利点があり、今までに種々の薬剤と肥料との組み合わせが行われてきた^{3.1), 3.2)}。その組み合わせは①施用時期が一致すること②土壌や植物体における各々の効果に支障がないこと③肥料塩類との共存下で薬剤の物性が安定であることなどの肥料と薬剤との適性で決まる。

前節までに述べたように、ウニコナゾールP入り肥料は「コシヒカリ等の倒伏しやすい品種の倒伏が軽減できるため、穂肥適期である幼穂形成期（出穂25日前頃）に穂肥時期を早められ、安定多収が図れる」という肥料と薬剤の相乗的効果が期待できるので、組み合わせの適性は良いと考えられるが、この肥料の安定した効果を得るためには、肥料と薬剤の挙動を支配している要因を明らかにすることが必要である。そこでその主要成分であるアンモニア態窒素とウニコナゾールPの水田における挙動について両者を比較した。

1. 試験方法

1) 供試した倒伏軽減剤入り肥料

穂肥用速効性の粒状化成肥料にウニコナゾールPを約 50mgkg^{-1} 添加した市販のスミショート28(SDF-21)を用いた。SDF-21の素材肥料は尿素入りの窒素加里化成肥料で、硫酸アンモニウム、リン酸アンモニウム、尿素および塩化カリウムが主体である。またウニコナゾールPはグリコール系溶剤の溶液として肥料粒に添加している。第4-11表に供試したSDF-21の分析結果を示した。

2) 供試土壌

試験には宝塚、鳥取、加西から採取した3種類の土壌を用いた。それらの特性は第4-12表に示した。

3) 試験1 主要成分の水層への溶出

内径27mm、高さ58mmの円筒ガラスビンに宝塚土壌あるいは鳥取土壌の風乾土を3g採取し、20mLの蒸留水を満たした。懸濁した水層

部分が澄んでから、S D F-21の肥料粒（水分約 5gkg^{-1} ）のうち粒径約3mmのものを選抜して約100mg（3～4粒）を投入した。

投入後25℃の室内に静置し、所定の時間ごとに上澄液を10mL採取して、アンモニア態窒素（ $\text{NH}_4\text{-N}$ ）、カリウム（K）、リン酸（ $\text{H}_2\text{P}_4\text{-P}$ ）およびウニコナゾールPの濃度を測定した。対照として蒸留水のみに肥料粒を投入した試験区を設けた。試験は2反復で行った。

4) 試験2 主要成分の土壌における垂直移動

宝塚土壌を 0.05m^2 のワグネルポットに詰め、中央部分の田面（0cm）、深さ2cmおよび5cmに土壌溶液採取装置（外径6mm、長さ15mmの素焼き円筒）¹¹²⁾を埋設した。その後湛水深を3cmに保ち、水稻苗（品種コシヒカリ）3本1株を移植深度1cmで栽植した。

自然光温室（平均気温昼28℃夜20℃）で14日間栽培した後、S D F-21をポット当たり5g、湛水土壌に全面表層施用した。土壌深度別に土壌溶液を約5mL採取し、 $\text{NH}_4\text{-N}$ およびウニコナゾールP濃度を測定した。試験は2反復で行なった。なお、土壌溶液採取装置の素焼き円筒に肥料成分およびウニコナゾールPは吸着されない。

5) 試験3 主要成分の田面水中の水平方向への移動

S D F-21の安定した効果を得るためには均一に施用されることが望ましい。必要とされる均一施用の程度はS D F-21の主要成分の拡散、移動の難易が目安になる。そこでS D F-21の主要成分の田面水中の水平方向への移動について検討した。

試験は1990年に兵庫県加西市の水稻栽培圃場（加西土壌）において実施した。基肥 $\text{N}:40\text{kg ha}^{-1}$ （6月18日）、S D F-21の穂肥施用（7月26日、出穂24日前）、穂揃期追肥 $\text{N}:20\text{kg ha}^{-1}$ （8月22日）を施し、栽植密度 21.9株 m^{-2} でコシヒカリを栽培した（田植え：6月20日、出穂：8月19日）。

一条3mが縦に12条入るように枠（縦4m横3m）で囲み、田面水を水深5cmに保ったのち、枠内の端4分の1部分（3条、 3m^2 ）にS D F-21 80gm^{-2} を出穂24日前に全面表層施用した。その後、経時的にS D F-21施用箇所（0.0m）および施用箇所からの距離0.5m、1.5

m、2.5mの地点の田面水を採取し、 $\text{NH}_4\text{-N}$ およびウニコナゾールPの濃度を測定した。また、出穂12日後に一株の中から平均稈長に相当する穂を3穂選んで稈長を測定し、条ごとに全株の平均稈長を算出して短稈効果を比較した。

6) 試験4 SDF-21施用後の葉色発現と短稈効果に及ぼす湛水深の影響

安定したSDF-21の効果を得るにはウニコナゾールPによる倒伏軽減効果と肥料による穂肥効果が同時に、かつ十分に現れることが求められる。特にSDF-21を施用する時期（出穂25日前頃）は間断湛漚を実施する頃であるので、施用時の水管理がSDF-21の効果に及ぼす影響について検討する必要がある。そこでその一つとしてSDF-21施用後の葉色発現と短稈効果に及ぼす湛水深の影響について検討した。

0.02m²のワグネルポットを用いて、試験2と同様に1ポット当たり基肥 N:0.08gでコシヒカリを栽培した。出穂35日前に落水し、2週間畑状態で管理した後、排水栓を抜いたままで水を満たした0.05m²のワグネルポット内に設置した。田面水の水位は内側の0.02m²のポットの土壌表面を基準として、外側の0.05m²のポットの水位の高さで調整し、湛水深 -8cm(表土の含水比:293gkg⁻¹)、0cm、3cmおよび12cmに保った。その後SDF-21をポット当たり1.2gを出穂20日前に全面表層施用した。

葉色はSDF-21施用時から出穂期まで葉色計（SPAD-502）で経日的に調査し、完全展開した上位3葉の葉身中央部の葉色を測定し、平均値を求めた。さらに出穂15日後に全穂の稈長を測定して、平均稈長を求めた。なお、対照としてウニコナゾールPを含まない化成肥料を同量施用した区を設けた。試験は3反復で行った。

7) 成分の定量法

(1) 肥料成分

土壌溶液または田面水サンプルはオクタデシルシリル化シリカゲルのカートリッジカラムで精製した後に $\text{NH}_4\text{-N}$ 、K、 $\text{H}_2\text{PO}_4\text{-P}$ をイオ

ンクロマトグラフィー（島津HIC-6A）で定量した。カチオンの定量にはShim-pak IC-C1カラム、移動相5mM 硝酸を、アニオンの定量にはShim-pak IC-A1カラム、移動相 2.5mM フタル酸、2.4mM トリス（ヒドロキシメチル）アミノメタンを用いて、電気伝導度検出器で測定した。

（2）ウニコナゾールP

分析試料の量が少なく機器分析¹¹⁾ができなかったため、簡易測定法⁵⁰⁾で測定した。この測定法はジベレリンの生物検定で用いられるイネ幼植物の伸長がウニコナゾールP量に応じて抑制されることを利用したものである。

2. 結果および考察

1) 試験 1 主要成分の水層への溶出

結果を第4-3図にSDF-21 1g投入時の水層中濃度に換算して示した。蒸留水中では肥料成分($\text{NH}_4\text{-N}$, $\text{H}_2\text{PO}_4\text{-P}$, K)とウニコナゾールPはともに24時間後にはほとんどが溶出し、同じ溶出パターンを呈した。投入量から算出した各成分の溶出率は肥料成分はほぼ100%、ウニコナゾールPは約70%であった。

土壌量に比べて肥料投入量が著しく多い（約 1700kg ha^{-1} の施肥量に相当）ので、水層に溶出する成分はほとんどが肥料由来であり、土壌由来の成分は量的に無視できる。したがって、肥料成分の溶出は土壌が介在する場合でも、 $\text{NH}_4\text{-N}$, Kについては蒸留水中の溶出パターンとほとんど同じであった。各土壌の144時間後の成分濃度を蒸留水中のそれと対比した溶出率は $\text{NH}_4\text{-N}$ で107%（宝塚土壌）と84%（鳥取土壌）、Kは88%（宝塚土壌）と79%（鳥取土壌）であり、若干の土壌吸着が認められた。 $\text{H}_2\text{PO}_4\text{-P}$ の溶出パターンは宝塚土壌では蒸留水中とほぼ同じであったが、鳥取土壌では明らかに土壌由来の $\text{H}_2\text{PO}_4\text{-P}$ に影響された。一方、ウニコナゾールPの溶出濃度は土壌が介在する場合は蒸留水中よりも1オーダー低くなり、溶出率は宝塚土壌で10%、鳥取土壌で2%であった。ウニコナゾールPは黒ボク土に吸着されやすいことが知られている^{11, 113)}が、溶出パ

ターンにもその特徴が現れた。このように肥料成分は速やかに溶出するのに対してウニコナゾールPはほとんどが土壤に吸着されることが示された。

2) 試験2 主要成分の土壤中における垂直移動

結果を第4-4図に示した。 $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度は表層(田面および深さ2 cm部位)では施用後速やかに増加(施用1日後の濃度は施用前の濃度の約250~560倍)し、明らかに施肥の影響が現れた。また $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度は施用2日後から漸減した。8日後、12日後には表層の土壤溶液中に硝酸態および亜硝酸態窒素が検出され始めるので、この $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度の減少は硝化、脱窒によるものと考えられる。一方、深さ5 cm部位の $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度の増加は表層よりもやや遅れ、増加の程度も小さかった。施用1日後の濃度は施用前の濃度の約40倍になるので、この増加もまた土壤窒素の無機化よりも施肥の影響によるものと思われる。したがって、全面表層施用されたSDF-21の $\text{NH}_4\text{-N}$ は深さ5 cm部位にまで達していると考えられる。

ウニコナゾールP濃度は田面水中よりも土壤表層の土壤溶液中で高く、SDF-21施用4日後に最高になった。深さ5 cm部位では検出されなかった。施用量から算出した田面水中への分配率は $\text{NH}_4\text{-N}$ で59%、ウニコナゾールPで2.5%であった。

以上から水田土壤に表層施用されたSDF-21の $\text{NH}_4\text{-N}$ は深さ5 cm部位にまで移動するが、ウニコナゾールPは深さ2 cmまでの表層にとどまることが明らかになった。なお、本試験は減水深がない条件で行ったが、減水深のある場合には、いずれの成分ともに本試験の結果よりも下方移動しやすくなると推察される。

3) 試験3 主要成分の田面水中の水平方向への移動

SDF-21施用箇所からの距離ごとの田面水中 $\text{NH}_4\text{-N}$ とウニコナゾールP濃度を第4-13表に、また各地点の水稲の短稈効果を第4-14表に示した。

田面水中 $\text{NH}_4\text{-N}$ は施用箇所から2.5mまで検出された。なお、施用6時間後で2.5m部分の濃度が1.5m部分の濃度よりも高くなっている

が、これは施用箇所、田面水が岸の周辺を経て流入したためではないかと思われる。一方、ウニコナゾールPは施用6時間後で施用箇所と施用箇所から0.5mまでで検出されたが、96時間後には全地点で検出されなくなった。また、ウニコナゾールPによる短程効果は施用箇所だけで現れ、施用箇所と隣接する条(条番号4)でも短程効果は認められなかった(第4-14表)。このようにウニコナゾールPは大部分が土壤に吸着され、田面水を介する移動量は少なく、施用箇所ではウニコナゾールPの効果は期待できないので、SDF-21の施用にあたっては、著しいむらのないように均一に施用することが望ましい。

4) 試験4 SDF-21施用後の葉色発現と短程効果に及ぼす湛水深の影響

各湛水条件下での葉色の推移を第4-5図に示した。葉色はいずれの湛水条件下でもSDF-21施用後4日目から上がり始め、10日目に最大となり、20日目以降は低下し始めた。また、葉色発現はSDF-21と対照区で差はなかった。つまり素材とする肥料の肥効(ここでは葉色の発現のこと)にウニコナゾールPは影響しないことが示された。

各試験区の平均稈長を第4-15表に示した。8cmおよび0cm湛水区では施肥による葉色の発現はあっても短程効果はほとんど認められなかった。一般に土壤水分の低い土壤では高い土壤に比べて薬剤の土壤吸着が大きいので、土壤溶液中の薬剤濃度が下がり、薬剤の効果は低下する^{11, 42)}。また、試験2と3の結果から、表層施用されたSDF-21の短程効果は田面水中のウニコナゾールPではなく、表層土壤溶液中のウニコナゾールPに起因すると考えられる。したがって、-8cmおよび0cm湛水区のように土壤水分が十分でない場合には、ウニコナゾールPの土壤吸着が大きく、表層土壤溶液中の濃度が下がり、表層土壤近くの根群や茎基部からのウニコナゾールPの吸収が少なくなるために効果の低下おこると考えられる。しかし、最大容水量以上の水分条件であっても、水深がない場合(湛水0cm)

より水深がある場合の方がウニコナゾールPの効果は強かった。これは例えばSDF-21施用後の土壌表面における肥料粒の溶解の違いというような湛水深をとることによって生じる要因に基づいていると推察される。また、本試験は試験2と同様に減水深がない条件で行ったが、減水深がある場合には水の下方移動によって成分の移動が大きくなると予想される。このようにSDF-21のウニコナゾールPの効果の発現には、①表層土壌への吸着と土壌溶液中への分配率に影響する土壌水分、②湛水深、③減水深という水が関与する要因が関係していると考えられる。特にこの試験の場合は土壌水分と湛水深がウニコナゾールPと肥料成分の挙動に差をもたらす要因となったと思われる。

ウニコナゾールPの水に対する溶解度は 8.4mgL^{-1} (20°C)であり¹¹⁾、肥料塩の約 $5 \times 10^{-4} \sim 10^{-5}$ 倍である。また、ウニコナゾールPの各種土壌における吸着分配定数は $1.3 \sim 40.0$ であり^{11), 113)}、土壌カラムを用いた下方移動試験で有機物含量が2%以上の土壌では $0 \sim 5\text{cm}$ (透水速度 68mm d^{-1} , 透水期間 7.3日間)¹¹⁾、黒ボク土で $0 \sim 1\text{cm}$ である¹¹⁵⁾ことが示されている。

また、薬剤の各種土壌における吸着等温線の測定例¹¹⁴⁾によれば水田用除草剤ベンチオカーブで吸着分配定数は約 $2 \sim 80$ 、吸着が大きく移動度が小さいパラコートでは約 $3600 \sim 80000$ である。またベンチオカーブでは残留した薬剤の大部分は水田土壌表層 5cm 以内に検出される。さらに、NIPの下方移動距離は 1cm 以内であることが知られている¹¹⁴⁾。

一方、肥料成分の水平方向の移動に関しては、8種類の粒状複合肥料のアンモニア態窒素、リン酸およびカリウムについて土壌槽を用いて検討された結果では、アンモニア態窒素とカリウムは施肥位置から半径 10cm 、リン酸は $1 \sim 2\text{cm}$ 以内である¹¹⁶⁾。また、藤沼と田中¹¹⁷⁾は単肥および複合肥料中のアンモニア態窒素の平均移動距離は1日あたり $10 \sim 20\text{mm}$ であることを示した。さらに、カルシウム飽和土壌カラムを用いた下方移動試験 (透水速度 105mm d^{-1} , 透水

期間 4日間) ではアンモニア態窒素やカリウムの移動は約15cmである¹¹⁸⁾。

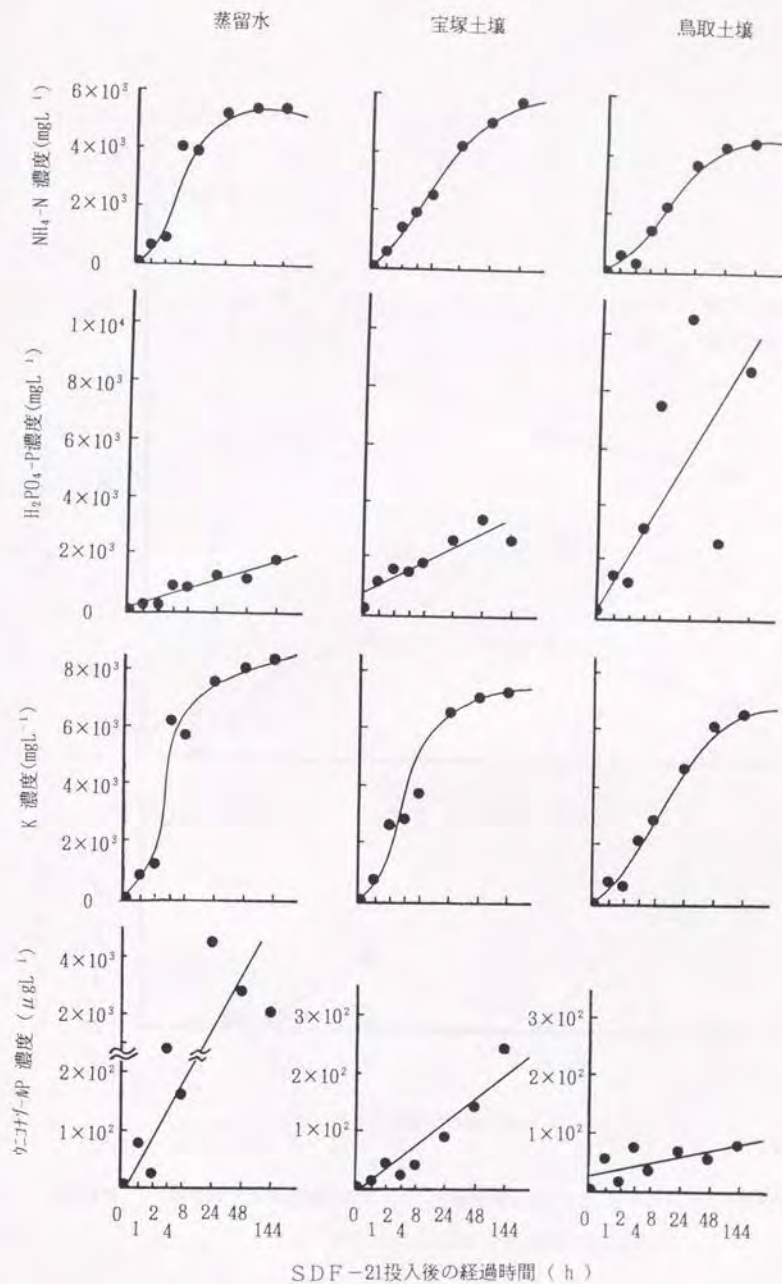
以上からウニコナゾールPの土壌の吸着性、移動性は多くの水田用除草剤と同程度であり、土壌吸着、固定の強いリン酸は別としてアンモニア態窒素やカリウムよりも吸着されやすく、移動しにくいといえる。特にウニコナゾールPの土壌吸着が強く現れ、移動しにくい条件下(例えば土壌水分が低い場合や有機物含量の高い土壌の場合)では、この試験のようにウニコナゾールPと肥料の移動性の差に起因して、肥料の肥効は現れるが、ウニコナゾールPの短程効果は不十分な場合があると思われる。したがって、ウニコナゾールPの移動性が著しく低くならないようにSDF-21施用の際は湛水することが必要である。

第4-11表 供試したSDF-21の成分組成

成分	含有率(g kg ⁻¹)
全窒素	149
内アンモニア態窒素	102
可溶性リン酸	30
内水溶性リン酸	27
水溶性カリウム	183
ウニコナゾールP	0.059

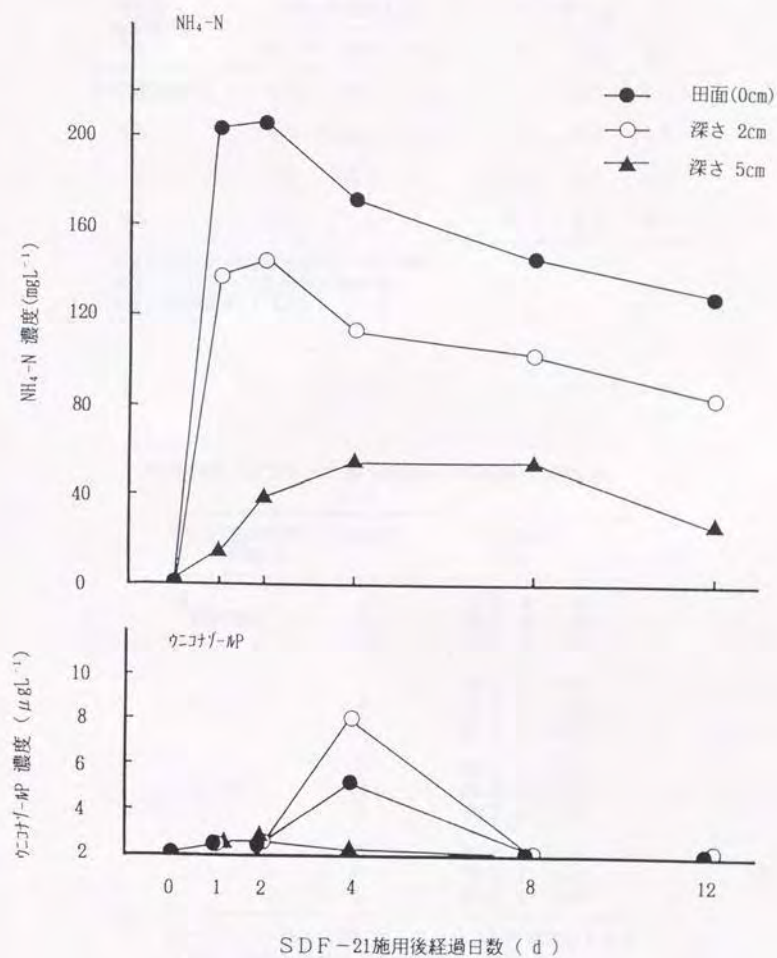
第4-12表 供試土壤の特性

採取地	土壌群	土性	粒徑組成 (%)				pH (H ₂ O)	全窒素 (gkg ⁻¹)	全炭素 (gkg ⁻¹)	硝酸 吸収係數 (×10 ² gkg ⁻¹)	陽イオン 交換容量 (c mol(+)kg ⁻¹)
			粗砂	細砂	シルト	粘土					
宝塚	沖積性 灰色低地土	SL	47.5	37.0	7.5	8.0	0	6.1	1.0	10.0	6.9
鳥取 加西	黒砂土 洪積性 灰色低地土	L CL	7.0	34.0	46.0	13.0	0	4.8	5.7	128.0	35.2
			18.2	30.0	17.6	33.2	1.0	5.7	1.4	20.0	10.0



第4-3図

SDF-21成分の溶出



第4-4図 部位別の土壤溶液中のアンモニア態窒素 (NH₄-N) とウニコナゾールP濃度

注) ウニコナゾールPの検出限界は 2 μg L⁻¹

第4-13表 田面水中のアンモニア態窒素(NH₄-N)とウニコナゾールP濃度

田面水 採取地 (m) * ¹	NH ₄ -N (mg L ⁻¹)			ウニコナゾールP (μg L ⁻¹)		
	6h. * ²	24h.	96h.	6h.	24h.	96h.
0.0(施用箇所)	35.8	30.0	4.2	4.5	3.3	N. D. * ³
0.5	6.1	14.5	3.8	3.5	N. D.	N. D.
1.5	0.7	4.1	1.1	N. D.	N. D.	N. D.
2.5	6.0	1.8	1.1	N. D.	N. D.	N. D.

* 1 S D F-21施用箇所からの距離

* 2 S D F-21施用後経過時間

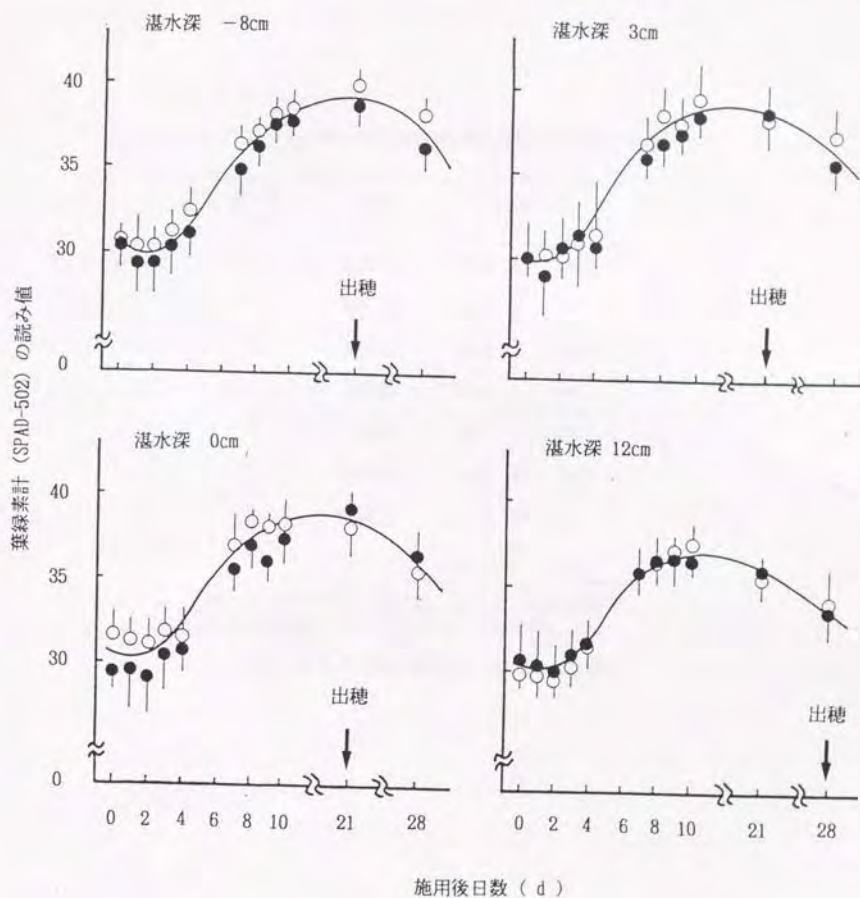
* 3 検出限界 (2 μg L⁻¹) 以下

第4-14表 S D F-21施用箇所からの距離と短稈効果

SDF-21施用箇所 からの距離(m)	条番号	平均稈長 (cm)
施用箇所	1	74.8 b (90)
	2	75.7 b (91)
	3	78.5 b (94)
0 ~ 1	4	83.7 a (101)
	5	84.5 a (102)
	6	85.4 a (103)
1 ~ 2	7	86.3 a (104)
	8	85.5 a (103)
	9	85.2 a (102)
2 ~ 3	10	85.6 a (103)
	11	83.9 a (101)
	12	83.2 a (100)

同一アルファベット間には、ダンカンの多重検定による有意差 (5 %) が無いことを示す。

() 内は NO. 12条の平均稈長を 100とした指数。



第4-5図 SDF-21施用後の葉色発現 (●: SDF-21, ○: 対照区)

第4-15表 SDF-21の短稈効果に及ぼす湛水深の影響

湛水深 (cm)	区名	平均稈長 (cm)
-8	対照区	49.5 a (100)
	SDF-21	46.5 a (94)
0	対照区	53.2 a (100)
	SDF-21	51.3 a (96)
3	対照区	53.3 a (100)
	SDF-21	41.6 b (78)
12	対照区	62.1 a (100)
	SDF-21	46.1 b (74)

同一アルファベット間には、ダンカンの多重検定による有意差（5%）がないことを示す。

（ ）内は、それぞれの対照区を 100とした指数。

第4節 水田土壤微生物に対するウニコナゾールP入り肥料の影響

ウニコナゾールP入り肥料を施用した田面水、表層土壌および根圏土壌の細菌数および糸状菌数を調査し、水田土壤微生物に対するウニコナゾールP入り肥料の影響について検討した。

1. 材料および実験方法

1) 耕種概要

播種25日後のコシヒカリの苗（草丈約20cm、第3葉展開期）を前節で供試したものと同一宝塚土壌を詰めた 0.02m^2 のワグネルポットに3本1株で3株を各株間が等距離になるように、移植深度1cmで栽植した。その後、平均気温昼 28°C 夜 20°C の自然光温室で、常時湛水深2cmで栽培した。なお、基肥は施用しなかった。

2) 試験区

SDF-21はポット当たり 1.2g （通常施用量の3倍、 $\text{N. } 84\text{kg ha}^{-1}$ ウニコナゾールP $\cdot 30\text{g ha}^{-1}$ 相当）を湛水土壌表面処理した。比較としてSDF-21と同量の化成肥料（ウニコナゾールP無添加）を施用した対照区を設けた。移植18日後（実験1）または28日後（実験2）にSDF-21および対照の化成肥料を施用し、施用直前(+0)、施用3日後(+3)、13日後(+13)に微生物計数用の田面水または土壌サンプルを採取した。また、この時各試験区の草丈を測定し、SDF-21の伸長抑制効果を確認した。試験は3反復で行った。

3) 微生物の計数

好気性細菌はアルブミン寒天培地を、糸状菌はローズベンガル寒天培地を用いて、常法に従って希釈平板法^{1) 9, 1203}によってそれぞれを計数した。

4) 実験1 田面水および表層土壌の微生物への影響

所定日に各ポットから田面水を2mLずつ5回、計10mLを採取した。また、表層土壌は藁さじで田面水が懸濁しないように深さ数mmの部分为数カ所から採取（乾物重で1～2g相当）して、ただちに滅菌

水に懸濁させた。懸濁液は10分間振とうし、一次希釈液として、微生物数を計数した。

5) 実験 2 根圏土壌の微生物への影響

所定日に各ポットから株を静かに引き抜き、根部に付着する土壌を水中分画法¹²¹⁾によって調整して微生物数を計数した。

2. 結果および考察

1) 田面水および表層土壌の微生物への影響

田面水、表層土壌のいずれにおいてもSDF-21区と対照区で細菌数および糸状菌数に差は認められなかった(第4-17表)。また、第4-16表に示したようにSDF-21の伸長抑制効果は明らかに現れており、前節のSDF-21の土壌中での挙動に関する知見からも、田面水および表層土壌には伸長抑制効果の発現に十分な量のウニコナゾールPが存在していたと考えられるが、SDF-21区と対照区で微生物数に差はなかった。

2) 根圏土壌の微生物への影響

第4-18表に示したようにSDF-21区では伸長抑制効果が認められたが、根圏土壌の細菌数および糸状菌数は対照区と差はなかった(第4-19表)。前節に示したようにSDF-21のウニコナゾールPは土壌表層部に大部分が吸着され、土壌の深層部への移動量は少ないので、ウニコナゾールPは土壌表層部に近い茎基部や根群に吸収されて伸長抑制効果が現れると考えられる。つまりウニコナゾールPの存在量は表層土壌よりも根圏土壌ではるかに少ないと思われるので、根圏土壌の微生物への影響は、田面水や表層土壌に対する影響よりもはさらに小さくなると推察される。

土壌微生物に対して施肥、殺虫剤、除草剤、植物生長調節剤をはじめとする生理活性物質が影響することが知られ¹²²⁻¹²⁴⁾、ウニコナゾールPの異性体にも抗菌活性があることが示されている^{6, 125, 126)}。しかし、ウニコナゾールP自体にはほとんど認められない⁶¹⁾。

以上のようにSDF-21は通常の施用量の範囲では水田土壌環境の微生物に影響しないことが示された。

第4-16表 試験区の草丈の推移 (cm)

区名	処理前 (+0)	処理3日後 (+3)	処理13日後 (+13)
SDF-21	35.9	37.3 (96)*	45.7 (80)
対照区		39.0 (100)	57.2 (100)

* 対照区を100とする指数。

第4-17表 田面水および表層土壌の細菌数、糸状菌数 (乾土 1g または田面水 1ml 当たり)

区名	+0*			+3			+13		
	田面水	表層土	田面水	表層土	田面水	表層土	田面水	表層土	表層土
SDF-21			1.2±0.6 ×10 ⁴		2.2±0.1 ×10 ⁶		2.5±0.6 ×10 ⁴		4.9±1.1 ×10 ⁶
	1.3±0.5 ×10 ⁴	5.9±0.2 ×10 ⁶							
対照区			5.8±1.6 ×10 ³		3.0±0.5 ×10 ⁶		3.1±0.5 ×10 ⁴		4.9±2.5 ×10 ⁶
(糸状菌数)									
SDF-21			1.5±0.9		5.2±2.0 ×10 ³		2.3±1.0		1.2±0.3 ×10 ⁴
	8.1±4.2	2.8±1.8 ×10 ⁴							
対照区			1.3±1.0		5.2±2.0 ×10 ³		2.2±1.7		9.8±1.7 ×10 ³

* SDF-21または対照化成肥料の施用後日数。+0とは施用直前のこと。

第4-18表 試験区の草丈の推移 (cm)

区名	処理前 (+0)	処理3日後 (+3)	処理13日後 (+13)
SDF-21	28.4	28.9 (101)*	35.0 (93)
対照区		28.6 (100)	38.8 (100)

* 対照区を100とする指数。

第4-19表 根圏土壌の細菌数、糸状菌菌数 (乾土 1g 当たり)

区名	細菌数		糸状菌数	
	+0*	+13	+0	+13
SDF-21	$1.3 \pm 0.8 \times 10^7$	$1.2 \pm 0.3 \times 10^7$		$6.7 \pm 4.6 \times 10^3$
	$1.6 \pm 0.3 \times 10^7$		$2.7 \pm 1.0 \times 10^3$	
対照区	$1.9 \pm 0.3 \times 10^7$	$1.2 \pm 0.5 \times 10^7$		$8.3 \pm 3.5 \times 10^3$
				$6.0 \pm 3.0 \times 10^3$

* SDF-21または対照化成肥料の施用後日数。+0とは施用直前のこと。

第5章 ウニコナゾールP入り肥料の利用法（実地試験のまとめ）

1985年から1990年の6年間に全国の国公立農業試験場、財団法人日本植物調節剤研究協会などでコシヒカリについて実施された試験の成績を各県の慣行区（県普及慣行区、主として出穂18日以降の穂肥）と比較してまとめた。なお、対照区とは幼穂形成期にSDF21と同量の肥料を施用した試験区のことであり、県普及慣行区よりも施肥時期が早い。

第1節 短稈効果、倒伏軽減効果、収量および収量構成要素

SDF21区では第4節間を中心に短稈化し、SDF-21区の稈長は県普及慣行に比べて平均で6.9%短縮された。一方、対照区では逆に2.7%伸長した（第5-1図）。また、施用時期による短稈効果の差はほとんど認められなかった。

県普及慣行区の倒伏程度は、2.6（0～4の5段階評価）であるのに対してSDF-21区では1.7であり、0.9段階軽減された。一方、対照区は2.9で、0.3段階助長された（第5-2図）。

精玄米収量は県普及慣行に比べて対照区は1.9%、SDF-21区では5.5%増加した（第5-3図）。

この収量の向上は、 m^2 当たり総穂数の増加に基いた。すなわち m^2 当たり総穂数はSDF-21区では7.9%、対照区では6.4%増加した（第5-4図）。またこの総穂数の増加は、主に m^2 当たりの穂数の増加に起因した（第5-1表）。第2章でウニコナゾールPおよび窒素に穂数増加作用があることを示したが、SDF-21区と対照区で m^2 当たりの穂数に差は認められないので、SDF-21施用による穂数の増加は窒素の作用によるものと考えられた。実用的な施用量ではウニコナゾールPによる短稈効果は現れるが、穂数の増加効果までは現れないことが示唆された。

一方、第5-5図に示すように登熟度は県普及慣行区と同等であり

(0.3%の増加)、対照区ではやや低下した(2.7%の減少)。

このようにSDF-21は短稈効果に基づく倒伏軽減効果があるため、幼穂形成期に安心して施せる穂肥肥料であり、これを利用することによって総穂数を増加させてなお登熟度を維持することができるので、コシヒカリ等の安定多収が図ることが可能になった。

第2節 増肥時期と収量性

SDF-21を穂肥として用いる場合(10a当たり製品で15~20kg)の増肥時期と精玄米収量について、①基肥を増肥(10a当たり平均N2.7kgの増肥)してSDF-21を施用、②穂肥を増肥(10a当たり平均N1.5kgの増肥)してSDF-21を施用、③増肥なし(県普及慣行と同量)でSDF-21を施用という区分によってまとめた(第5-6図)。

収量が増加したのは、②穂肥を増肥した場合(6.33%)と③県普及慣行と同量の場合(4.5%)であった。基肥を増肥しても収量の向上は認められなかった。また、県普及慣行に比べて5%以上の増収した試験数の割合は①25%、②65%、③48%であり、穂肥を増肥した場合が増収例が多かった。

このようにSDF-21を穂肥として用いる場合、施用時期がやや早くなるため、県普及慣行と同量の施肥量でも十分に収量性の向上が期待できるが、より確実な増収を期待するならば、やや増肥するのが好ましい。一方、基肥を増肥しても茎数の過剰や過繁茂という生産性に対するマイナス要因が大きくなるので、収量性の向上は穂肥に重点を置く②や③の場合ほど期待できないと思われた。

第3節 コシヒカリの各作期における効果の変動

コシヒカリの早期栽培、早植栽培および短期(普通期)栽培におけるSDF-21の効果を第5-2表に示した。いずれの作期でも安定

した効果が認められた。

第4節 肥料三要素の吸収

N、 P_2O_5 、 K_2O いずれの含有率にも対照区とSDF-21区で差はなかったが、籾の乾物重が増えるために吸収量は増加した(第5-7図)。また、有意差はみとめられないが、SDF-21の施用でわらの窒素含有率がやや増加する傾向は、第3章で示したウニコナゾールP処理で抑制された水稻莖葉部の全窒素含有率は無処理区よりも明らかに高いという結果と一致した。

第5節 玄米の物理的品質

第4章の第1節および第2節に示したSDF-21の施用によって粒厚が厚くなるという粒張りの向上効果が、1990年茨城県農業試験場竜ヶ崎試験地、1990年滋賀県農業試験場湖北分場、1990年高知県農業試験場の事例⁹⁾¹⁾をはじめとして多くの事例が認められた。

したがって、容積重や整粒歩合などの外観の形質が評価される米穀検査等級区分による品質検定においては、SDF-21による品質向上が期待できる。1988~90年に試験が実施された7カ所の農業試験場の調査事例では、県普及慣行の玄米等級が上上~中上(1~4)の場合は、SDF-21の施用による等級の向上は明らかでなかったが、中中~中下(5~6)の場合にはSDF-21によって約1段階等級が向上し、いずれも一等米規格になった(第5-8図)。

第6節 玄米の化学的品質と食味

1990年に各県の農業試験場で実施された試験の玄米について事例調査を試みた。食味総合評価は、県普及慣行と大差ないものが多く、向上した事例も見られた。ただし、穂揃期追肥を施した場合には玄

米中の窒素含有率が増加する傾向が認められた(第5-3表)。

第7節 ウニコナゾールP入り肥料を取り入れた施肥体系の考え方

従来、コシヒカリやササニシキをはじめとする長稈の品種の穂肥は、遅めにかつ少なめに施すように推奨されてきたが、ウニコナゾールP入り肥料を穂肥に用いることによって倒伏が軽減できるので、従来よりも7~10日早く、出穂25日前頃の幼穂形成期に、やや多めに施用することが可能になった。

また、ウニコナゾールP入り肥料は草型の改良効果、積極的な穂肥施用および総穂数の適正限界の向上効果によって水稻の生育を制御する技術であり、特にコシヒカリやササニシキ等の品種の安定多収に貢献できるものと考えられた。また穂肥を早めに、やや多めに施用するので、食味の低下を招く穂揃期追肥(実肥)を省くことができ、玄米品質の確保にも有利になる。このようにウニコナゾールP入り肥料の利用によって、施肥効率の高い穂肥を中心とする新しい水稻の施肥法が構築できる。

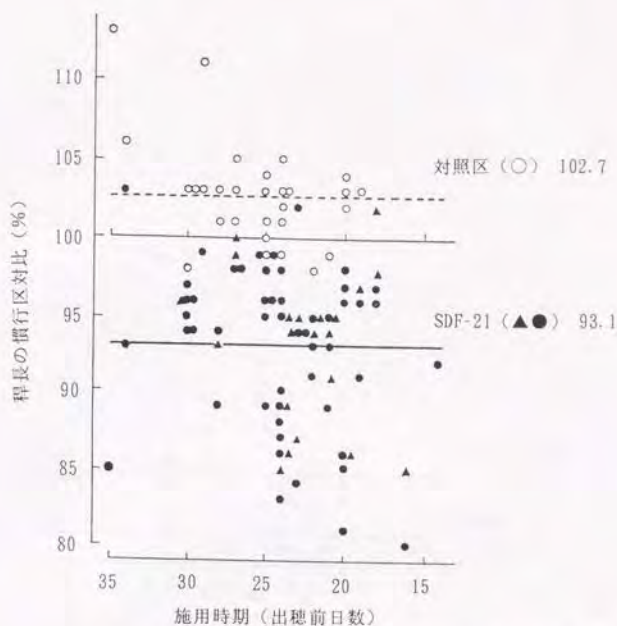
ウニコナゾールP入り肥料を取り入れた施肥体系は、基肥は慣行に比べてやや減量しておいて、第1回穂肥としてウニコナゾールP入り肥料を幼穂形成期に施用し、第2回目以降の穂肥は必要に応じてウニコナゾールPを含まない一般の肥料を施用することを基本とする。施肥総量は第1回穂肥の時期が従来に比べて早くなる分だけ、10a当たりの窒素成分量で1~2kgを上乗せするにとどめるのが望ましい。施用時期の診断は、幼穂形成期の葉色票値が慣行基準よりも若干高めの3.5~4.0に下がった時点が目安となる。

一方、穂肥の窒素施用量は、地域、品種によって異なるので、ウニコナゾールPが10a当たり0.75~1.2g投与でき、しかも窒素施用量1.0~1.4、1.4~2.1および2.1~2.8の3段階に対応できるようにSDF-21の他に2剤が設計されている(第5-4表)。それらの短稈効果の比較を第5-4表に示した。ウニコナゾールP施用量が

同じであれば、いずれの窒素施用量でも短稈効果に差はなかった。第2章で論じたようにウニコナゾールPによる短稈効果は窒素の施用によって緩和されるが、実用的な施用量の範囲内では短稈効果は一定していることが示された。

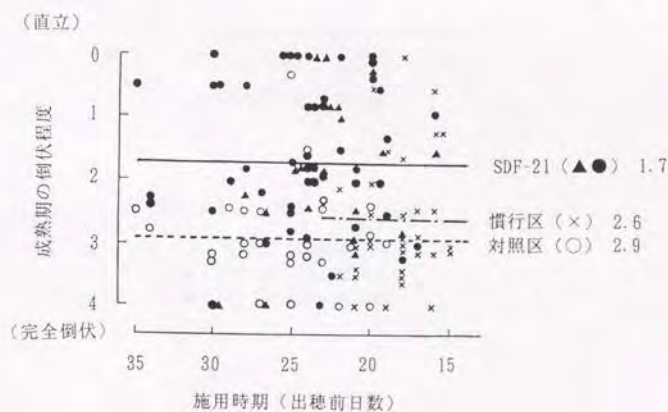
武田²⁴⁾が水稻の籾数生産力の特徴や籾数生産力と草型に対する反応によって品種を分類した結果によると、ササニシキは籾数が多く、栽培技術の焦点は適正籾数への制御、光合成機能を維持して登熟を高めることにあり、コシヒカリは施肥に対する形態反応が敏感であるため、必要にして十分な総籾数の確保と倒伏軽減が課題である。第5-9図に示すようにウニコナゾールP入り肥料の施用で、品種の特性または地域に応じた反応をしていずれも収量水準が上がった。すなわちコシヒカリでは m^2 当たり総籾数を増加させながら、登熟度が向上することによって、ササニシキでは総籾数の増加ではなく登熟度の向上によって増収する場合が多かった。ただし、あきたこまちでは総籾数が増加すると登熟度が低下する傾向にあるので、例えば減数分裂期穂肥を加えるなど、さらに登熟度を維持するための施肥を考慮する必要があると思われた。

第5-10図にウニコナゾールP入り肥料の特長が十分に発揮できる新しい施肥体系の考え方を示した。



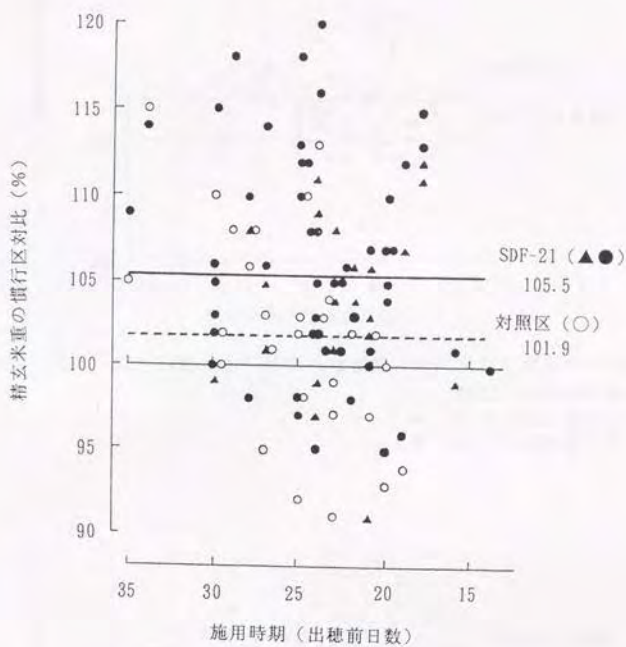
第5-1図 SDF-21の短穂効果

○：対照区（肥料のみ施用）
▲：SDF-21, 15kg 施用区
●：SDF-21, 20kg 施用区



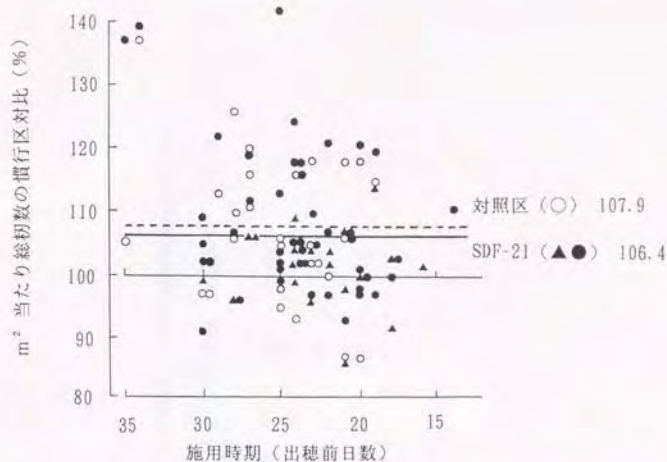
第5-2図 SDF-21の倒伏軽減効果

○：対照区（肥料のみ施用）
▲：SDF-21, 15kg 施用区
●：SDF-21, 20kg 施用区



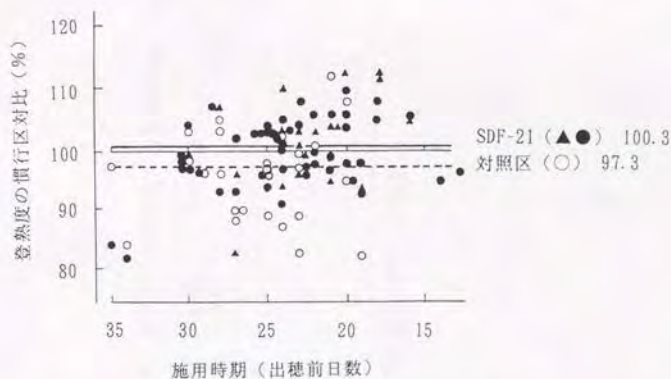
第5-3図 SDF-21区の収量

- : 対照区 (肥料のみ施用)
- ▲ : SDF-21, 15kg 施用区
- : SDF-21, 20kg 施用区



第5-4図 SDF-21区の m^2 当たり総初数 (m^2 当たり穂数 \times 一穂初数)

○ : 対照区 (肥料のみ施用)
 ▲ : SDF-21, 15kg 施用区
 ● : SDF-21, 20kg 施用区



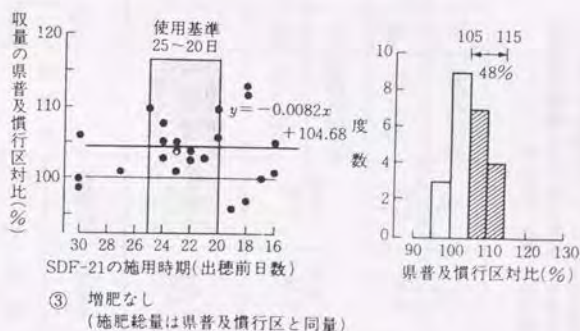
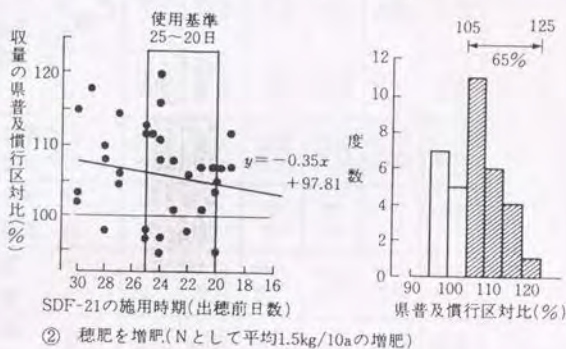
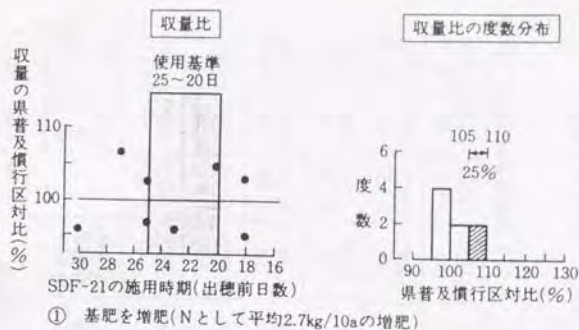
第5-5図 SDF-21区の登熟度 (登熟歩合 \times 千粒重)

○ : 対照区 (肥料のみ施用)
 ▲ : SDF-21, 15kg 施用区
 ● : SDF-21, 20kg 施用区

第5-1表 SDF-21施用区の収量構成要素 (1985～1990年の国公立農業試験場等での試験成績のまとめ)

区名	試験 点数	精玄米重	m ² 当たり 総収数	m ² 当たり 穂数	一穂 粒数	登熟度	登熟歩合	千粒重
SDF-21	71	105 *	106	104	101	101	100	101
対照区	29	101	107	105	102	96	98	99
慣行区	71	100	100	100	100	100	100	100

* 慣行区を 100とした指数。



第5-6図 SDF-21を穂肥として施用する場合の増肥時期と収量性

第5-2表 コシヒカリの作期とSDF-21の効果(試験成績の平均値)

作 期 区 分			試 験 区	試験 点数	穂長 (cm)	倒伏 程度 (0~4)	精玄 米重 (kg/ 10 a)	m ² 当たり 穂数 (本)	m ² 当たり総粒数 (×100粒)		登 熟 度	
区 分	田植期	出穂期							平均一 穂粒数 (粒/穂)	登熟 歩合 (%)	千粒重 (g)	
早 栽 培	4月 上中旬	7月 上中旬	SDF-21	10	80 (92)	1.5	558 (100)	381 (104)	78 (99)	1,393 (100)	70 (100)	19.9 (100)
			県普及慣行	5	87 (100)	2.3	556 (100)	366 (100)	79 (100)	1,400 (100)	70 (100)	20.0 (100)
早 植 培	5月 上中旬	8月 上中旬	SDF-21	24	82 (93)	1.9	593 (106)	352 (106)	79 (100)	1,630 (102)	78 (103)	20.9 (100)
			県普及慣行	15	88 (100)	2.9	557 (100)	333 (100)	79 (100)	1,596 (100)	76 (100)	21.0 (100)
(普通期) 短 期 栽 培	6月 上中(下) 旬	8月 上中(下) 旬	SDF-21	28	82 (92)	1.2	517 (104)	304 (104)	79 (100)	1,726 (103)	77 (101)	22.3 (101)
			県普及慣行	16	89 (100)	2.5	497 (100)	291 (100)	79 (100)	1,670 (100)	76 (100)	22.0 (100)

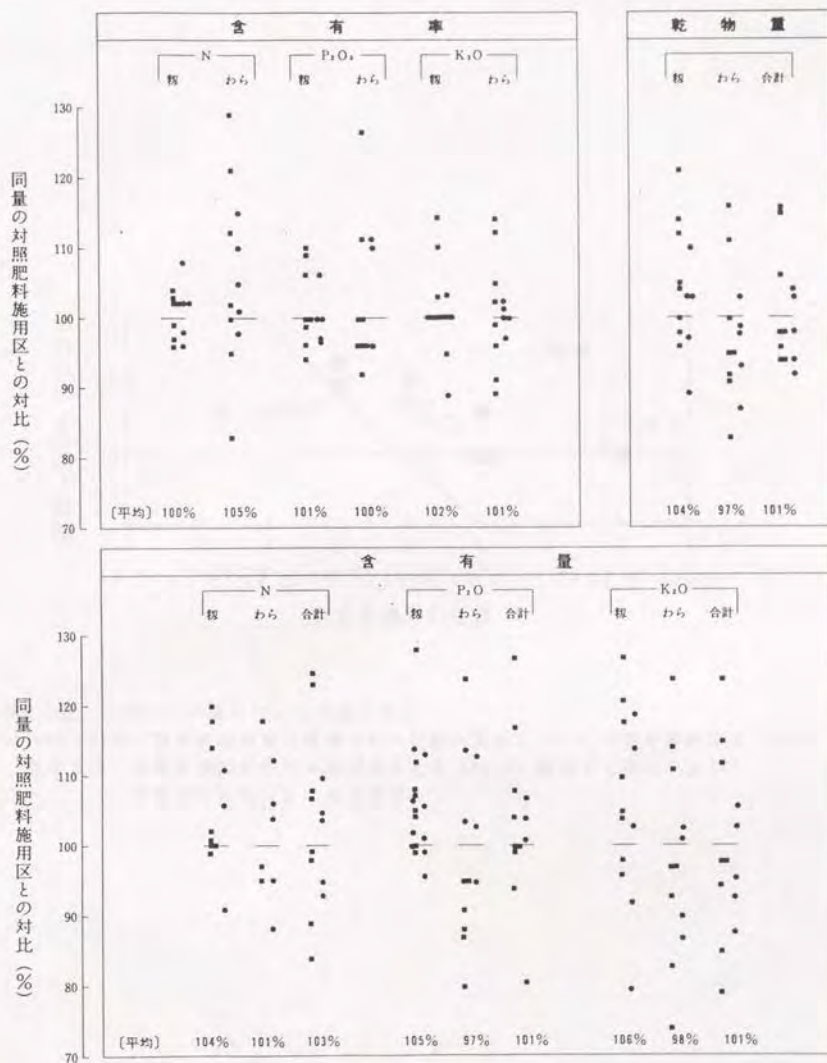
() は県普及慣行対比 (%)

(注) 試験年次: 1988~1990年

試験場所: 各地の国公立の農業試験場等

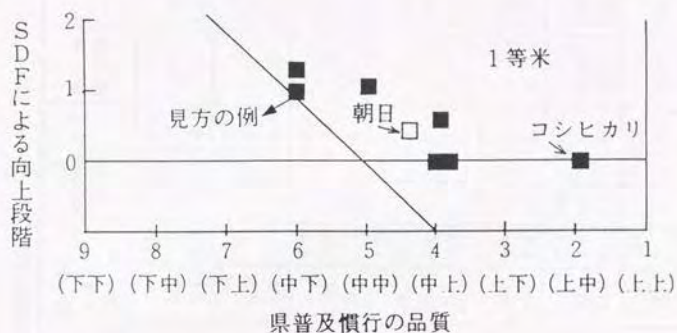
処理条件: SDF-21は出穂前25~20日に、Nとして2.1~2.8 kg/10 a(ウニコナゾールP 0.75~1.0 g/10 a)を施用。

県普及慣行は出穂前18~15日にNとして、2~3 kg/10 aを施用。



第5-7図 水稻の三要素吸収に及ぼすウニコナゾールP入り肥料の影響

(注) 1989年委託試験を実施した国公立の農業試験場の分析値13点のまとめ。
 供試剤は、ウニコナゾールP含量を高めた剤を用い、15 kg/10 a (N, 2.1 kg, ウニコナゾールP 1.2 g) または 10 kg/10 a (N, 1.4 kg, ウニコナゾールP 1.2 g) を施用した。



第5-8図 SDF-21の施用による品質の向上

(1988～90年に農業試験場等で実施された試験の玄米についての調査事例のまとめ)

図の見方：県普及慣行の玄米等級が6のとき SDF-21 施用で1段階向上して
等級が5になったことを示す。

第5-3表 食味および玄米成分に対する影響調査例

場 所	区 別	施肥N量 (kg/10 a)						取 量 (kg/ 10 a)	倒伏程度 (0~4)	食 味 総合評価	玄米中の元素分析				アミロース 含 有 量 (%)
		基肥	追肥	穂 肥							N	K	Mg	Mg/K 比	
				-25	-20	-15	-10								
茨城県農業試験場 竜ヶ崎試験地	SDF-21	6.0						528	+25 1.0	+38(日) 3.5	1.18	0.24	0.14	0.58	14
	県普及慣行	6.0			[2.8]	3.0		514	2.5	3.9	1.19	0.24	0.15	0.63	15
群馬県農業試験場 (現地圃場)	SDF-21	2.0		[2.1]				423		+38(日) 1.5	1.39	0.30	0.15	0.50	16
	県普及慣行	2.0				2.1		338		3.9	1.53	0.22	0.15	0.68	18
佐賀県農業試験場 三瀬分場	SDF-21	4.8		[2.8]				669	+26 +31 0.8 1.2	+38(日) 2.9	1.22	0.21	0.12	0.58	17
	県普及慣行	4.8					3.2	651	1.0 1.3	3.0	1.16	0.20	0.12	0.60	17
長野県南信農業 試験場	SDF-21	5.0			[2.1]+1.3			751	+24 0.4	+48(日) 0.8	1.41	212	177	1.67	—
	県普及慣行	5.0		[2.1]+1.3	2.6			797	1.6	2.0	1.53	211	170	1.61	—
島根県農業試験場	SDF-21	5.0			3.4			744	0.8	2.0	1.40	213 (mg)	177 (mg)	1.66	—
	県普及慣行	5.0		[2.8]				537	+25 +35 0.8 0.8	+45(日) 3.0	1.26	—	—	—	15
滋賀県農業試験場 湖西分場	SDF-21	3.0	2.0					588	2.4 3.0	3.6	1.26	—	—	—	15
	県普及慣行	3.0	2.0		[2.8]	2.8	2.8	615	+26 +29 0.4 0.6	+34(日) 1.8	1.49	—	—	—	14
愛媛県農業試験場	SDF-21	4.0		[3.0]				575	1.0 2.0	3.0	1.28	—	—	—	15
	県普及慣行	4.0		3.0	2.0	2.0	2.0	545	+27 0	+30(日) 1.6	1.36	0.36	0.26	0.11	19
								518	1.6	3.2	1.30	0.34	0.24	0.11	20

(注) □: SDF-21 で施用

* 長野県は農業試験場内での分析値。その他は、元素分析は、財団法人 日本肥効検証協会関西支部、アミロースの分析は、財団法人 日本食品分析センターでの分析値。
 * 食味は住友化学工業総合研究所でのバレル試験による。基準は住友化学工業試験場東京のバレル試験による。

* は、食味総合評価の有意差ありを示す。-2 (悪い), -1 (やや悪い), 0 (普通), +1 (やや良い), +2 (良い) 基準は0。

第5-4表 倒伏軽減剤入り肥料 (SDF) の種類と使用方法

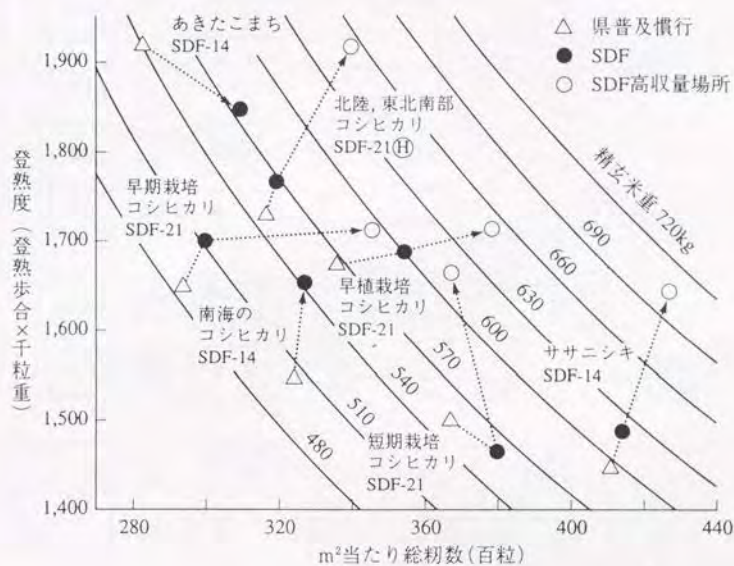
肥料成分 (%) (N-P ₂ O ₅ -K ₂ O)	SDF-14		SDF-21⑩	
	14-2-17	14-2-17	14-2-17	SDF-21
倒伏軽減剤 (%) (ウニコナゾールP)	0.012	0.008	0.005	0.005
使用時期	出穂25～10日前	出穂25～20日前	出穂25～20日前	出穂25～20日前
10a 当たり 使用量	製品 7～10kg (N.1.0～1.4kg) (剤 0.84～1.2g)	製品 10～15kg (N.1.4～2.1kg) (剤 0.8～1.2g)	製品 15～20kg (N.2.1～2.8kg) (剤 0.75～1.0g)	製品 15～20kg (N.2.1～2.8kg) (剤 0.75～1.0g)
使用方法	湛水土壌処理 (東北) ササニシキ あきたこまち (南海：麦、野菜あと) コシヒカリ	湛水土壌処理 (北陸、東北南部) コシヒカリ	湛水土壌処理 (関東以西) コシヒカリ	湛水土壌処理
代表的な地域・品種				
施肥の面から考えた 使い方	穂肥時期を幼穂形成期から減 数分裂期 (出穂25～10日前) の間で調節できる。 N 成分で1.4kg/10a 以下の施 肥体系の場合や麦あと、野菜 あとなどの圃場の穂肥に適し ている。	幼穂形成期穂肥 (出穂25～20 日前)。 特に1回の穂肥量がN成分 で2kg/10a ぐらいで、2回以 上施す地域における第1回穂 肥に適している。	幼穂形成期穂肥 (出穂25～20 日前)。 特に穂肥量が1回にN成分で 3kg/10a ぐらい施す地域に適 している。	

第5-5表 ウニコナゾールP入り肥料の短程効果の比較

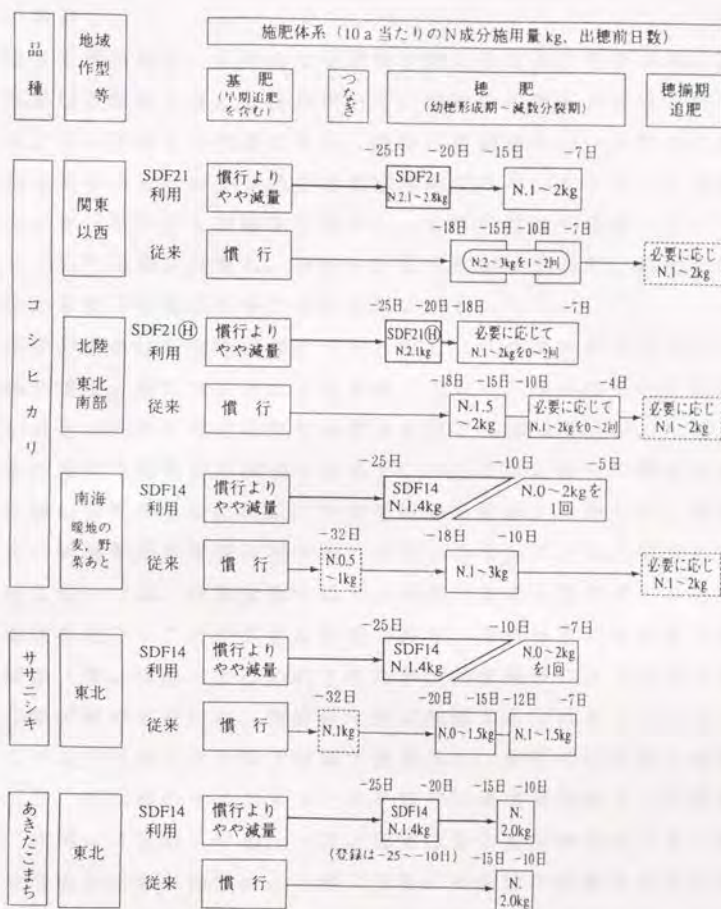
試 験 場 所 (年 次) (品 種)	10a 当たりの施用量とN成分施用量			県 普 及 慣 行
	SDF-14 10kg (N.1.4kg)	SDF-2㊦ 15kg (N.2.1kg)	SDF-21 24kg (N.3.4kg)	
岩手農試 県南分場 ('91年, ササニシキ)	92 %	93 %	— %	cm (84)
福島農試会津支場 ('90年, ササニシキ)	92	90	—	(85)
秋田農試 ('90年, あきたこまち)	89	91	—	(77)
新潟農試 ('89年, コシヒカリ)	91	91	—	(102)
植調・研究所 ('89年, コシヒカリ)	92	91	—	(82)
植調・福岡第一試験地 ('90年, コシヒカリ)	93	93	92	(82)

注) 表中の数字は稈長の県普及慣行対比

ウニコナゾールP量はいずれも1.2g/10a



第5-9図 ウニコナゾールP入り肥料の品種、地域ごとの収量および収量構成要素



第5-10図 ウニコナゾールP入り肥料を取り入れた施肥体系の考え方

第6章 総括

1. 緒言

植物生長調節剤は、生物の生育環境を整えるために使用される農薬とは異なり植物自身に直接作用して、植物の生育を生産性が有利になるように制御する技術である。植物生長調節剤の一分野である矮化剤は大半がジベレリンの生合成阻害剤であり、トリアゾール系のウニコナゾールPも前駆体のカウレンの酸化段階を阻害して、ジベレリンの生合成を阻害し、植物の生長を抑制するので、鉢植え園芸植物の草丈や草姿の改善に利用されている。

近年の稲作は良食味品種のコシヒカリ、ササニシキを中心に作付面積が増え、特にコシヒカリは倒伏しやすく、作りにくいと言われながらも1993年における作付面積は全国で536Khaに及び、水稻うるち米の全作付面積の約30%を占めている。これに伴って倒伏しやすい品種の安定多収のために、生育を的確に診断、予測して、適切な生育の制御を図る管理技術の確立が行われてきている。コシヒカリ栽培においては、作業能率の低下や減収、玄米品質の低下をもたらす倒伏を避けることが大きな課題であり、それは主に水管理と施肥の調整（量と時期）で行われてきたが、気象条件によっては生育の調節が困難であるため、倒伏を十分に制御するには至っていない。そこで化学薬剤による倒伏軽減が模索され、最近では短稈化を目的にして、矮化剤のウニコナゾールPなどが倒伏軽減剤として開発され、利用され始めている。一方、穂肥は有効茎歩合の向上や一穂粒数の増加のために施され、一般に出穂25日前頃の幼穂形成期が穂肥の適期である。しかし、この時期は下位節間の伸長期にもあたり、倒伏しやすい品種では倒伏を助長するために、穂肥はこの時期を避けて、下位節間の伸長が終了してから（出穂18～15日前以降）施しているのが実情である。そこで、倒伏軽減剤ウニコナゾールPと肥料を組み合わせれば、倒伏を軽減し、かつ穂肥適期である幼穂形成期（出穂25日前頃）に穂肥を施すことができるようになり、コシヒ

カリなどの安定多収を図れるのではないかと考えた。

本研究は、まず基礎的な課題として水稻に対するウニコナゾールPの作用を窒素栄養条件と関連させて検討したのち、ウニコナゾールP入り肥料の実用化にあたって、その効果を明らかにすることを目的とした。

2. 水稻の形態形成に対する倒伏軽減剤ウニコナゾールPと窒素の作用

2-1 草丈、茎数、穂数等の形質に対する作用

コシヒカリの草丈、茎数、稈長、穂数、平均一穂穂数および総穂数に対するウニコナゾールPの影響を処理時期別に水耕法で検討した。また、幼穂形成期のウニコナゾールP処理において、これらの形質に及ぼすウニコナゾールPの濃度、施用窒素濃度、ジベレリンの影響について検討した。短稈効果は減数分裂期、穂ばらみ期および幼穂形成期で高かった。茎数は幼穂形成期以前の処理で増加したが穂数の増加にまで及んだのは幼穂形成期処理であった。一穂穂数は減数分裂期以前の処理で減少し、特に幼穂形成期処理で著しく減少した。幼穂形成期のウニコナゾールPの影響は、 $5.0 \mu\text{g L}^{-1}$ の処理までは穂数の増加作用に伴って平均一穂穂数も減少するが、 $10.0 \mu\text{g L}^{-1}$ 以上の処理では穂数の増加による一穂穂数の低下以上に減少するので、著しい生長抑制が現れる処理では穎花の分化にウニコナゾールPは抑制的に作用すると考えられた。一穂穂数に対しては、ウニコナゾールPは減少作用を、窒素は増加作用があり、互いに相反する作用を示すが、穂数に対してはいずれも増加作用を示し、相乗的に作用した。また、ジベレリンはウニコナゾールPと反対の作用を示した。したがって一穂穂数の増加作用のような水稻の形態形成に対する窒素の作用の一部は、窒素施用による内生ジベレリンレベルの増加に起因すると考えられるが、窒素による茎数や穂数の増加作用はジベレリンレベルの増加よりもタンパク合成能などの同化

能が促進されるという窒素の直接的作用の方が強いと推察された。

2-2 幼植物の伸長生長に対する作用

ビデオを用いて測定した水稻幼植物の伸長生長曲線を解析し、ウニコナゾールPとアンモニア態窒素が伸長生長に及ぼす影響について検討した。ウニコナゾールPの影響はまず、変曲点到達時間の短縮として現れ、処理量が多い場合は生長速度の低下がそれと同時に現れた。ウニコナゾールPは処理量によって2通りの作用をした。すなわち抑制率80%程度になる処理量の場合は生長速度には影響せず、変曲点到達時間を短縮させて、最大生長量を抑制する。一方、ウニコナゾールPの処理量が多く、抑制効果が強い場合は処理直後から生長速度を抑制し、同時に変曲点到達時間を短縮させて、最大生長量を抑制した。アンモニア態窒素は生長速度を促進した。このように最大生長量を抑制するウニコナゾールPと促進するアンモニア態窒素は結果として相反する作用を持つことになるが、最大生長量を規定する両者の作用点は異なり、互いの作用を打ち消し合うものではなかった。

3. ウニコナゾールP処理をした水稻の養分吸収特性

ウニコナゾールP処理によって矮化した水稻の養分($\text{NH}_4\text{-N}$, $\text{NO}_3\text{-N}$, P, K)吸収量をウニコナゾールP無処理区と比較した。 $\text{NH}_4\text{-N}$ やPの吸収は茎葉部の大きさに影響されず、 $\text{NO}_3\text{-N}$ やKは茎葉部の大きさにしたがって吸収された。すなわちウニコナゾールP処理水稻においては $\text{NH}_4\text{-N}$ やPの個体当たり吸収量は無処理と変わらず、新鮮重当たり吸収量はウニコナゾールPで茎葉部新鮮重が小さくなる分だけ高くなった。一方、 $\text{NO}_3\text{-N}$ やKは個体当たり吸収量は無処理よりも低く、新鮮重当たり吸収量はほぼ同程度になった。これらの特徴は各成分が同化される部位(茎葉部、根部)の影響を反映していると考えられた。しかし、 $\text{NO}_3\text{-N}$ やKは茎葉部の抑制以上に吸収量が低下する場合が多く、ウニコナゾールPは根における $\text{NO}_3\text{-N}$ やKの

吸収を抑制している可能性が考えられた。

4. ウニコナゾールP入り肥料の効果と水田における挙動

4-1 ウニコナゾールP入り肥料の効果とコシヒカリの草型および群落構造に及ぼす影響

ウニコナゾールP入り肥料の施用で増収傾向が認められた。これは幼穂形成期の穂肥による総穂数の増加と倒伏軽減効果による登熟度の維持または向上に起因した。また、上位葉の葉面傾斜角度は鋭角になり上位葉は直立し、群落の深部にまで光が透過する群落構造になった。この上位葉の直立化による受光態勢の改善効果は、増加した総穂数を維持するのに十分な登熟の向上を、つまり総穂数の適正限界の向上をもたらす大きな要因になると考えられた。上位葉の直立化現象は、短稈化や葉鞘の短縮化などの形態に対する直接的影響というよりも、ウニコナゾールPはジベレリンの生合成阻害剤であるので、ジベレリン等の植物ホルモンの作用が関与する内生的な要因によることが示唆された。

4-2 酒米「山田錦」に対するウニコナゾールP入り肥料の効果

長稈で倒伏が問題になっている酒造好適米品種の山田錦に対するウニコナゾールP入り肥料の効果について検討した。ウニコナゾールP入り肥料の施用で倒伏は明らかに軽減され、増収した。さらに玄米の粒厚が厚くなり、心白粒の発生歩合が上がって、醸造米としての品質が向上した。なお、原料米の化学性は慣行・対照区と差は認められなかった。

4-3 ウニコナゾールP入り肥料の挙動

ウニコナゾールP入り肥料の安定した効果を得るためには、肥料と薬剤の挙動を支配している要因を明らかにすることが必要である。そこでその主要成分であるアンモニア態窒素とウニコナゾールPの

水田における挙動について両者を比較した。ウニコナゾールPはほとんどが土壌に吸着され、下方にもまた田面水を介して水平方向にもアンモニア態窒素よりも移動しにくいことが示された。例えば土壌水分が低い場合など、ウニコナゾールPの土壌吸着が強く現れ、移動しにくい条件下ではウニコナゾールPと肥料の移動性の差によって窒素の肥効は現れるが、ウニコナゾールPの短稈効果は不十分な場合があった。したがって施用の際には十分に湛水することなどを実施して、ウニコナゾールPの移動性が著しく低くならないようにすることが必要である。

4-4 土壌微生物相に対するウニコナゾールP入り肥料の影響

ウニコナゾールP入り肥料の施用による水田土壌の微生物に対する影響について検討した。土壌微生物数は田面水、表層および根圏土壌においてもウニコナゾールP入り肥料と対照の肥料で差はなかった。ウニコナゾールP入り肥料は通常の施用量の範囲では水田土壌環境の微生物に影響しないことが示された。

5. ウニコナゾールP入り肥料の利用法（実地試験のまとめ）

5-1 短稈効果、倒伏軽減効果、収量および収量構成要素

1985～1990年の6年間、国公立の農業試験場等でコシヒカリを用いて実施したウニコナゾールP入り肥料（SDF-21: 14-2-17, ウニコナゾールP 0.005%）の試験結果を各県普及慣行区と比較してまとめた。稈長は6.9%短縮され、倒伏は0.9段階軽減された。また、精玄米収量は5.5%増加した。収量構成要素については、総粒数が6.4%増加し、登熟度は慣行区と同等であった。

5-2 増肥時期と収量性

SDF-21を穂肥として用いる場合の増肥時期別に収量性を比較した。収量が増加したのは穂肥を増肥した場合(6.3%)であり、基肥

を増肥しても増収効果は認められなかった。

5-3 コシヒカリの各作期における効果の変動

コシヒカリの早期栽培、早植栽培および短期（普通期）栽培のいずれの作期でも安定したSDF-21の効果が認められた。

5-4 肥料三要素の吸収

籾、わらの N, P_2O_5, K_2O の含有率を調査した。いずれの含有率にも対照区（ウニコナゾールP無処理で、SDF-21と同日に同量の肥料のみを施した区）とSDF-21施用区の間に差はなかった。また、籾の乾物重が増えるため、吸収量は増加した。

5-5 玄米の物理的品質

SDF-21の施用により粒厚が厚くなり、良質米収量が増加した。また、県普及慣行の玄米品質が上上～中上（1～4）の場合は、SDF-21の施用による等級の向上効果は明らかでなかった。しかし中中～中下（5～6）の場合にはSDF-21によって約1段階向上し、いずれも一等米規格になった。

5-6 玄米の化学的品質と食味

1990年に各県農業試験場等で実施した圃場試験の玄米について事例調査を試みた。食味総合評価については、県普及慣行と大差ないものが多く、向上した事例も見られた。ただし、穂揃期追肥を施した場合には、玄米中の窒素含有率が増加する傾向が認められた。

5-7 ウニコナゾールP入り肥料を取り入れた施肥体系の考え方

コシヒカリをはじめとする良食味品種の穂肥は、これまでに遅めに、少なめに施すように奨められてきたが、ウニコナゾールP入り肥料を穂肥に用いることによって倒伏が軽減できるので、従来より7～10日早く、出穂25日前頃の幼穂形成期に、やや多めに施すことが

できる。ウニコナゾールP入り肥料を取り入れた施肥体系は、基肥は慣行に比べてやや減量しておいて第1回穂肥としてウニコナゾールP入り肥料を幼穂形成期に施用し、第2回目以降の穂肥は必要に応じてウニコナゾールPを含まない一般の肥料を施用することを基本とする。施肥総量は第1回穂肥の施用時期が従来に比べて早くなる分だけ、10a当たりの窒素成分量で1~2kgを上乗せするにとどめるのが好ましい。施用時期の診断は、幼穂形成期の葉色票値が慣行より若干高めの3.5~4.0に下がった時点が目安となる。

ウニコナゾールP入り肥料は、草型の改良効果、積極的な穂肥施用、総粒数の適正限界の向上効果によって水稻の生育を制御する技術であり、特にコシヒカリ等の安定多収に貢献できるものと考えられた。また、食味の低下を招く穂揃期追肥(実肥)を省けるので、玄米品質の確保にも有利になる。

このようにウニコナゾールP入り肥料の利用によって、施肥効率の高い穂肥を中心とする新しい水稻の施肥法が構築することが可能になった。

文献

- 1) Nickell, L.: Plant growth substances; Encyclopedia of chemical technology, vol. 18, p. 1~23, John Wiley & Sons, Inc., (1982)
- 2) 高橋信孝・広瀬和栄・佐藤幹夫・斉藤隆・上本俊平: 植物調整物質の園芸的利用, 誠文堂新光社, 東京(1973)
- 3) 坂 齊: 水稻・畑作物への植物生長調節剤の利用, 今月の農業, **35**, 118~123 (1991)
- 4) 山田登: 作物のケミカルコントロール, 農業技術協会, 東京(1966)
- 5) 池田芳: 植物生育調節剤効力検定法, 農薬生物検定法, 細辻豊二編, p. 699~710, 全国農村教育協会, 東京(1985)
- 6) 大塩裕陸・田中鎮也・泉 和夫: 矮化剤ウニコナゾールの開発とその作用機作並びに利用に関する研究, 植物の化学調節, **25**, 8~18 (1990)
- 7) Takano, H., Oguri, Y. and Kato, T.: Antifungal and plant growth-regulating activities of enantiomers of (*E*)-1-(2,4-dichlorophenyl)-4,4-dimethyl-2-(1,2,4-triazol-1-yl)-1-penten-3-ol (S-3308L), *J. Pesticide Sci.* **11**, 373~378 (1986)
- 8) Takano, H., Oguri, Y. and Kato, T.: Mode of action of (*E*)-1-(2,4-dichlorophenyl)-4,4-dimethyl-2-(1,2,4-triazol-1-yl)-1-penten-3-ol (S-3308L) in *Ustilago maydis*, *J. Pesticide Sci.*, **8**, 575~582 (1983)
- 9) 大塩裕陸・田中鎮也・川島操子: スミセブン, 住友化学, **1987-Ⅱ**, 51~59 (1987)
- 10) 青木孝一: 花き生産におけるわい化剤 S-07 の利用, 農及園, **58**, 89~93 (1983)
- 11) 関本 均・宮田宣嘉・片山泰之・大西純一・伊藤聖一・大塩裕陸: イネの倒伏軽減剤ーロミカー, 住友化学, **1991-Ⅱ**, 38~53 (1991)
- 12) Izumi, K., Yamaguchi, I., Wada, A., Osio, H. and Takahashi, N.:

Effect of a new plant growth retardant (*E*)-1-(4-chlorophenyl)-4,4-dimethyl-2-(1,2,4-triazol-1-yl)-1-penten-3-ol (S-3307) on the growth and gibberellin content of rice plants. *Plant Cell Physiol.*, **25**, 611~617 (1984)

13) Izumi, K., Kamiya, Y., Sakurai, A., Osio, H. and Takahashi, N.: Studies of sites of action of a new plant growth retardant (*E*)-1-(4-chlorophenyl)-4,4-dimethyl-2-(1,2,4-triazol-1-yl)-1-penten-3-ol (S-3307) and comparative effects of its stereoisomers in a cell-free system from *Cucurbita maxima*. *Plant Cell Physiol.*, **26**, 821~827 (1985)

14) 渡部 弘・阿部恒充・下田 久: わい化剤処理によるアザレアの生育・花成反応について, 園学雑(別2), **52**, 308~309 (1983)

15) 平城好明・青木孝一: S-07の利用によるヒラドツツジの鉢物化, 園学雑(別2), **51**, 400~401 (1982)

16) 国重正昭・西尾小作・須藤憲一: 西洋シャクナゲに対するスミセブンの効果, 園学雑(別1), **54**, 324~325 (1985)

17) 杉山和美・澤野郁夫: ユニコナゾール処理がウンシュウの着花数に及ぼす影響, 植物化学調節学会平成3年度大会講演要旨集, p. 81~82 (1991)

18) Izumi, K., Nakagawa, S., Kobayashi, M., Oshio, H., Sakurai, A. and Takahashi, N.: Levels of IAA, cytokinins, ABA and ethylene in rice plants as affected by a gibberellin biosynthesis inhibitor, uniconazole-P., *Plant Cell Physiol.*, **29**, 97~104 (1988)

19) 斎藤 隆: ウリ類の花の性の分化 [4], 農及園, **54**, 621~626 (1979)

20) 横田 清: リンゴ幼木の生育と着果におよぼすベンジルアデニン(BA)の効果, 植物の化学調節, **16**, 45~50 (1981)

21) 倉石 晋: サイトカイニンの作用機作, 植物の化学調節, **14**, 1~11 (1979)

22) Grossmann, K., Kwiatkowski, J., Siebecker, H. and Jung, J.: Regu

-lation of plant morphology by growth retardants, *Plant Physiol.*, **84**, 1018~1021, (1987)

23) 丹野文雄: 総合計量化方式によるコシヒカリ、ササニシキの生育予測と診断技術, 土肥誌, **59**, 423~428 (1988)

24) 武田敏昭: 土壌肥料分野からみた水稻の生育診断・予測技術の開発[1][2][3], 農及園, **60**, 1478~1993 (1985); **61**, 35~38, 291~298 (1986)

25) 山本良孝: 水稻の發育段階予測法の改善とその生育診断への応用[1][2], 同上, **67**, 25~30, 387~390 (1992)

26) 國武正彦: 良質米生産技術体系の基礎確立, 農業技術, **40**, 58~62 (1985)

27) 國武正彦: 農業技術の源流を訪ねて (2)コシヒカリを探る, 研究ジャーナル, **16**(6), 48~54 (1993)

28) 中山正義: 倒伏防止剤, 農業技術大系 作物編 2「イネ, 基本技術①」, 農文協編, p. 240~258~62, 農文協, 東京(1982)

29) 白川憲夫: イネ成長調節剤イナベンフィドの作用性, 植物の化学調節, **25**, 86~98 (1990)

30) 上野 博: パクロブトラゾールの作用特性と植物矮化剤としての実用性, 同上, **24**, 127~141 (1989)

31) 遠藤政弘: 肥料と農薬の境界領域への展開, 肥料, **28**, 80~88 (1990)

32) 村田菊蔵: 水稻の穂肥専用農薬入り肥料について, 肥検回報, **43**, 39~48 (1990)

33) 夏 宝森・花田毅一・菊池文雄: イネにおける半矮性遺伝子の形質発現に関する研究 第1報 窒素条件が形質発現に及ぼす影響, 日作紀, **60**, 36~41 (1991)

34) 高橋 清・佐藤 庚・和田 潔: 水稻節間の伸長機構に関する研究 第4報 ジベレリン酸の節間伸長誘起効果, 日作紀, **41**, 449~453 (1972)

35) 高橋 清・Kaufman, P. B.: 水稻幼植物の節間の伸長に及ぼす植

物生長調節物質の影響, 日作紀, **61**, 34~40 (1992)

36) 川合豊彦・武岡洋治: 異なる窒素追肥条件下における水稻小穂器官の形成に及ぼすジベレリンの影響, 日作紀, **58**, 324~330 (1989)

37) 土居孝治・橋本俊一・山尾昌弘・世良田恵子・大塩裕陸: コシヒカリの生育並びに収量構成要素に対する S-327D の処理時期の影響, 日作紀, **56**(別2), 177~178 (1987)

38) 武岡洋治・伊藤雅章・和田富吉: S-327D と GA₃ によるイネの穂形成と性発現の変動, 日作紀, **59**(別1), 126~127 (1990)

39) 清水正治: 水稻の形態形成におよぼすジベレリンの影響 第1報 生育時期別処理の影響, 日作紀, **33**, 379~387 (1965)

40) 清水正治・武岡洋治: 二・三植物生長調節物質と水稻 とくに小穂の形態形成, 作物の形態形成論, 清水正治編著, p. 80, 養賢堂, 東京(1979)

41) 蓬原雄三: 水稻における矮性突然変異の発現様式とその遺伝, 作物の形態形成論, 清水正治編著, p. 179~187, 養賢堂, 東京(1979)

42) Yamaguchi, I., Hasegawa, M., Nakajima, M., Murofushi, N., Sudo, K., Honda, I., Yanagisawa, T., Takahashi, N. and Takeda, K.: Gibberellin and male sterility of rice. Recent progress in the research on the plant hormones and related substances, p. 23~24, Japan Society for Bioscience, Biotechnology, and Agrochemistry, Tokyo(1993)

43) Kato, T. and Takeda, K.: Endogenous abscisic acid in developing grains on primary and secondary branches of rice (*Oryza sativa* L.): *Jpn. J. Crop Sci.*, **62**, 636~637 (1993)

44) 関谷福司: 水稻幼作物の分けつ原基および分けつ芽に関する研究 第8報 窒素欠乏が分けつ芽の発育に及ぼす影響, 日作紀, **32**, 53~56 (1963)

45) 関谷福司: 水稻幼作物の分けつ原基および分けつ芽に関する研究 第9報 磷酸欠乏が分けつ芽の発育に及ぼす影響, 日作紀, **32**, 57~60 (1963)

- 46) 清水正治：窒素、磷酸、加里が水稻の幼穂分化並びに出穂期におよぼす影響，育種学雑誌，**10**, 52～60 (1960)
- 47) Yamada, N., Suge, H. and Nakamura, H.: Chemical control of plant growth and development (2) Effect of α -naphthalene-acetic acid and 2,3,5-triiodobenzoic acid on growth of rice plant, *Proc. Crop Sci. Soc. Japan*, **31**, 258～262 (1963)
- 48) Suge, H. and Iwamura, H.: Effect of cytokinin and anticytokinin on the tillering of barley, *Jpn. J. Crop Sci.*, **62**, 595～600 (1993)
- 49) 林 茂一・熊沢喜久雄：水稻並びにコムギ幼植物の生長に及ぼす有機酸の影響，とくにアンモニア態あるいは硝酸態窒素を与えた場合，日作紀，**54**, 134～140 (1985)
- 50) 関本 均・西川 章・大塩裕陸：矮化剤ウニコナゾールPの簡易測定法，植物の化学調節，**27**, 222～230 (1992)
- 51) Ogawa, M., Miyake, H. and Maeda, E.: Light and electron microscope studies on synergistic interaction between gibberellic acid and 4-ethoxy-1-(*p*-tolyl)-*s*-triazine-2,6(1*H*,3*H*)-dione in growth of rice leaf sheaths, *J. Exp. Bot.*, **31**, 533～544 (1980)
- 52) 谷本英一：自動機器による研究法，植物ホルモン研究法，増田芳雄編，p. 267～280，学会出版センター，東京(1991)
- 53) 清水 浩・大下誠一：植物3次元計上の非接触計測システムの開発，農業機械学会誌，**55**, 93～100 (1993)
- 54) 柴田孝信・岩尾憲三・高野泰吉：画像処理による自動成長計測装置の開発，生物環境調節，**31**, 29～35 (1993)
- 55) 中世古公男：生長解析法，最新作物生理実験法，北條良夫・石塚潤爾編，p. 234～246，農業技術協会，東京(1985)
- 56) 山本良一：生長解析，実験生物学講座，15，植物生理学 [I]—植物ホルモンと生長，勝見允行・増田芳雄編，p. 229～236，丸善株式会社，東京(1983)
- 57) 和田明美・泉 和夫・榊 正治・大塩裕陸：S-07処理がキュウ

リの生育および花の性表現に及ぼす影響, 園学雑(別2), 52, 174~175 (1983)

58) ロミカ普及会: 水稻用倒伏軽減剤ロミカ粒剤技術資料 (1991)

59) 榊 正治・泉 和夫・宇和川明美・大塩裕陸: 矮化剤 S-07 の植物体内の吸収、移行性について, 園学雑(別1), 54, 288~289 (1985)

60) Osada, A., Suge, H., Shibukawa, S. and Noguchi, I.: Changes of endogenous gibberellin in rice plant as affected by growth stage and different growth condition. *Proc. Crop Sci. Soc. Japan*, 42, 41~45 (1973)

61) Murofushi, N.: Life cycle regulation in rice by endogenous plant hormones; in *Pesticide chemistry: Human welfare and the environment*, vol. 2, ed. Takahashi, N., Yoshioka, H., Misato, T. and Matsunaka, S., p. 21~28, Pergamon Press, London (1983)

62) 小島俊爾・園池耕一郎: キウリと水稻の發育およびインドール酢酸含量におよぼすアンモニア態窒素と硝酸態窒素の影響, 土肥誌, 56, 384~388 (1985)

63) 建部雅子: 土壌・作物体総合分析装置 SPAD SFP-2 による分析, 植物栄養実験法, 植物栄養実験法編集委員会編, p. 375~376, 博友社, 東京 (1990)

64) Frimire, R. M. and Cole, J. C.: Uniconazole effect on growth and chlorophyll content of pyracantha, photinia and dwarf burford holly, *J. Plant Growth Regul.*, 11, 143~148 (1992)

65) Frimire, R. M. and Cole, J. C.: Effect of uniconazole and limited water on growth, water relations, and mineral nutrition of lalandei pyracantha, *J. Plant Growth Regul.*, 11, 227~231 (1992)

66) Srivastava, H. S. and Fletcher, R. A.: Triadimenol increase nitrate levels and nitrate reductase activity in canola leaves, *J. Exp. Bot.*, 43, 1267~1271 (1992)

- 67) Zhang, S., Cothren, J. T. and Lorenz, E. J.: Mepiquat chloride seed treatment and germination temperature effects on cotton growth, nutrient partitioning and water use efficiency, *J. Plant Growth Regul.*, **9**, 195~199 (1990)
- 68) Hartzler, R. G., Fawcett, R. S. and Taber, H. G.: Effect of trifluralin on corn (*Zea mays*) growth and nutrition content, *Weed Sci.*, **38**, 468~470 (1990)
- 69) Rieger, M. and Scalabrelli, G.: Paclobutrazol, root growth, hydraulic conductivity and nutrient uptake of nemaguard peach, *Hort Sci.*, **25**, 95~98 (1990)
- 70) Miyata, M., Shibasaka, M. and Kawasaki, T.: Effects of sugar on potassium translocation in excised barley roots, *Soil Sci. Plant Nutr.*, **39**, 445~453 (1993)
- 71) 武長 宏: 生長調節物質と養分吸収, 植物栄養土壤肥料大事典, 植物栄養土壤肥料大事典編集委員会編, p. 178~180, 養賢堂, 東京 (1976)
- 72) 村山 登: 養分吸収と環境条件, 植物栄養土壤肥料大事典, 植物栄養土壤肥料大事典編集委員会編, p. 163~170, 養賢堂, 東京 (1976)
- 73) Daie, J., Seeley, S. D. and Campbell, W. F.: Nitrogen deficiency influence on abscisic acid in tomato, *Hort Sci.*, **14**, 261~262 (1979)
- 74) Goldbach, E., Goldbach, H., Wagner, H. and Michael, G.: Influence of N-deficiency on the abscisic acid content of sunflower plants, *Physiol. Plant.*, **34**, 138~140 (1979)
- 75) Thorsteinsson, B. and Eliasson, L.: Growth retardation induced by nutritional deficiency or abscisic acid in *Lemna gibba*: the relationship between growth rate and endogenous cytokinin content, *Plant Growth Regul.*, **9**, 171~181 (1990)
- 76) Marschner, H.: General introduction to the mineral nutri-

tion of plants; in Inorganic plant nutrition, Encyclopedia of plant physiology: vol. 15, ed. Lauchli, A. and Bielecki, R. A., p. 5~60, Springer-Verlag, New York (1983)

77) Horgan, J. M. and Wareing: Cytokinin and growth responses of seedlings of *Betula pendula* Roth. and *Acer pseudoplatanus* L. to nitrogen and phosphorous deficiency, *J. Exp. Bot.*, **31**, 525~532 (1980)

78) Moorby, J. and Besford, R. T.: Mineral nutrition and growth; in Inorganic plant nutrition, Encyclopedia of plant physiology: vol. 15B, ed. Lauchli, A. and Bielecki, R. A., p. 481~527, Springer-Verlag, New York (1983)

79) 杉山達夫: 窒素をシグナルとする遺伝子発現, 農芸化学誌, **66**, 917~920 (1992)

80) Wilkinson, R. E. and Ohki, K.: Influence of manganese deficiency and toxicity on isoprenoid synthesis, *Plant Physiol.*, **87**, 841~846 (1988)

81) Glinka, Z.: Abscissic acid promotes both volume flow and ion release to the xylem in sunflower roots, *Plant Physiol.*, **65**, 537~540 (1980)

82) Trivedi, S. and Erdei, L.: The effects of paclobutrazol and tetcyclacis on mineral distribution in wheat under salt stress, *J. Plant Physiol.*, **136**, 503~506 (1990)

83) De Boer, A. H., Prins, H. B. A. and Zanstra, P. E.: Bi-phasic composition of trans-root electrical potential in roots of *Plantago* species: involvement of spatially separated electrogenic pumps, *Planta*, **157**, 259~266 (1983)

84) 勝見允行: 植物における矮性の生理学, 化学と生物, **29**, 240~247 (1991)

85) 山根久和: 植物ホルモンと矮性, 化学と生物, **29**, 330~336 (1991)

86) 神谷勇治: 植物の人為的矮性化, 化学と生物, **29**, 472~480 (1991)

- 87) 瀬古秀生：水稻の倒伏に関する研究，九州農試報，7, 419～499 (1982)
- 88) 松島省三：稲作の改善と技術，p. 17～68，養賢堂，東京(1973)
- 89) 角田公正：生育、収量診断法，稲作全書 イネⅡ 栽培技術の基本，p. 803～804，農文協，東京(1981)
- 90) 松本美枝子：コシヒカリの外観品質と食味，農業技術大系作物編2「イネ，基本技術②」，農文協編，p. 685～690，農文協，東京(1991)
- 91) 関本 均・大内誠悟・馬原 章・清水勝之助：暖地コシヒカリに対する倒伏軽減剤入り肥料の効果[2]，農及園，66, 1279～1284 (1991)
- 92) 角田重三郎：形態と機能からみた多収性品種品種，稲の形態と機能，松尾孝嶺編，p. 179～228，農業技術協会，東京(1960)
- 93) 小野信一：草姿、草型と光合成産物の配分，作物—その形態と機能—上巻，北條良夫・星川清親共編，p. 304～316，農業技術協会，東京(1976)
- 94) 堀内久満・古賀義昭：倒伏抵抗性，農業技術，44, 425～429 (1989)
- 95) 菊池文雄・板倉 登・池橋 宏・横尾政雄・中根 晃・丸山清明：短稈・多収水稻品種の半矮性に関する遺伝子分析，農技研報，D 36, 125～145 (1985)
- 96) 吉田昌一：緑の革命 その生い立ちと現状，科学，56, 473～480 (1976)
- 97) 村山 登：収穫漸減法則の克服，p. 77～138，養賢堂，東京(1982)
- 98) 村山 登：施肥の考え方，化学と生物，6, 534～535 (1968)
- 99) 田中孝幸・松島省三・古城斉一・新田英雄：水稻収量の成立原理とその応用に関する作物学的研究(第90報) イネ群落姿勢と光—同化曲線との関係，日作紀，38, 287～293 (1969)
- 100) 佐伯敏郎：群落の体制と物質生産，作物の光合成と物質生産，

- 戸蒔義次監修, p. 287~295, 養賢堂, 東京(1971)
- 101) 林 健一・伊藤 博: 光利用効率からみた水稻品種の草型に関する研究(第1報), 日作紀, **30**, 329~333 (1962)
- 102) 高橋 清: イネの節間伸長における葉鞘の役割, 日作紀, **61**, 235~243 (1992)
- 103) 前田英三: 水稻茎葉の構造と発育, 作物の形態形成論, 清水正治編著, p. 36~37, 養賢堂, 東京(1983)
- 104) 丸茂晋吾・和田弘次郎: 新しい植物生長調節物質 Brassinolide, 植物の化学調節, **16**, 1~10 (1981)
- 105) 室伏 旭: イネの生長と植物ホルモン, 植物の化学調節, **15**, 11~19 (1980)
- 106) Hoffmann-Benning, S. and Kende, H.: On the role of abscisic acid and gibberellin in the regulation of growth in rice, *Plant Physiol.*, **99**, 1156~1161 (1992)
- 107) 高橋 清: 水稻地上部の内生ジベレリンおよび生長抑制物質含量の部位別比較について, 日作紀, **49**(別2), 165~166 (1980)
- 108) 吉沢 淑: 原料米の分析法[1][2], 日本醸造協会雑誌, **77**, 656~661, 798~805 (1982)
- 109) 農林水産省農蚕園芸局編: 水陸稲・麦類奨励品種特性表, p. 110~111, 農業技術協会, 東京(1993)
- 110) 野白喜久雄・小泉武夫: 酒造原料米, 醸造学, 野白喜久雄・小崎道雄・好井久雄・小泉武夫編, p. 37~39, 講談社サイエンスフィク, 東京(1993)
- 111) 秋山裕一・熊谷知栄子: 吟醸酒のはなし, p. 53~82, 技報堂出版, 東京(1987)
- 112) 村山 登: たん水下における土壌内部溶液の連続自動採取法, 土肥誌, **48**, 441~443 (1977)
- 113) 西川 晶・大塩裕陸・浪岡日左雄・中井 信・吉永長則: 新規矮化剤S-3307の土壌吸着機構, 土肥要旨集, **31**, 31(1985)
- 114) 鉄塚昭三: 土壌中における農薬の移動・吸着, 土壌の吸着現象,

- 日本土壤肥科学会編, p. 129~160, 博友社, 東京(1981)
- 115) 泉 和夫・大西純一・和田明美・大塩裕陸: 新規矮化剤 S-07 の土壌移行性および土壌残留性, 園学雑, **51**(別 2), 402~403 (1982)
- 116) 長谷川和久: 複合肥料に関する研究と応用, p. 38~44, 養賢堂, 東京(1988)
- 117) 藤沼善亮・田中房江: 作物の塩類濃度障害に関与する肥料、土壌要因について, 農技研報, **B26**, 1~96 (1975)
- 118) Miwa, E.: Simulation of behavior of fertilizer materials in soil. I. Model of tri-component exchange chromatographic transport, *Soil Sci. Plant Nutr.*, **26**, 175~184 (1980)
- 119) 加藤邦彦: 希釈平板法による好気性細菌の計数, 土壌微生物実験法, 土壌微生物研究会編, p. 15~17, 養賢堂, 東京(1992)
- 120) 新田恒雄: 希釈平板法による糸状菌の計数, 土壌微生物実験法, 土壌微生物研究会編, p. 62~63, 養賢堂, 東京(1992)
- 121) 木村真人: 根圏土壌の採取, 土壌微生物実験法, 土壌微生物研究会編, p. 125~132, 養賢堂, 東京(1992)
- 122) 佐藤 匡: 根圏微生物と栽培環境 農薬の影響, 農業技術大系 土壌肥料編 1, p. 90~98, 農文協, 東京(1991)
- 123) 佐藤 匡: 農薬の土壌微生物に対する影響-微生物作用に対する影響を中心に-, 植調, **19**(6), 2~17 (1985)
- 124) 小野 忠: 耕地土壌の生物相と除草剤連用, 化学と生物, **29**, 103~110 (1991)
- 125) Köller, W.: Isomers of sterol synthesis inhibitors: fungicidal effects and plant growth regulator activities, *Pestic. Sci.*, **18**, 129~147 (1987)
- 126) Fletcher, R. A., Hofsta, G. and Gao, J.: Comparative fungitoxic and plant growth regulating properties of triazole derivatives, *Plant Cell Physiol.*, **27**, 367~371 (1984)

謝辞

本論文の発表を許可していただいた住友化学工業株式会社に深謝いたします。特に農材事業部長 上田 実博士、農業科学研究所長 藤浪 曄博士および肥料部長 永井稔三氏にお世話になりました。また、本研究を実施するにあたり、宝塚総合研究所農業科学研究所主席研究員 嶺 昭彦博士、生命工学研究所主席研究員 大塩裕陸博士にご指導を賜りました。さらに、実地試験のまとめにあたっては農業科学研究所 大内誠悟主任研究員、実験の遂行にあたっては同研究所 西川 章研究員に多大なご尽力をいただきました。記して深謝いたします。住友化学工業株式会社農材事業部肥料部、愛媛工場第1製造部第1製造課（現住化グリーンテック株式会社）および農業科学研究所加西試験農場の皆様にはサンプル製造、分析および圃場試験に関してご協力いただきました。論文のまとめにあたっては、東京大学農学部 茅野充男教授、農林水産省農業環境技術研究所多量要素動態科長 尾和尚人博士、元東京農工大学農学部教授の村山 登博士および元新潟県農業試験場長 國武正彦博士にご助言を賜りました。ここに感謝の意を表します。また、原料米の化学分析にあたっては、高松国税局主任鑑定官黒須猛行氏、石川酒造場 石川卓社長、吉田酒造（株）吉田映治社長にお世話になりました。また、酒米研究会事務局には山田錦の分析値の引用許可をいただきました。心からお礼申し上げます。最後に、日々私を支えてくれました妻信子、父、母に感謝いたします。

