

氏 名(本籍) <sup>ア</sup>ンブ<sup>ロ</sup>シ<sup>オ</sup> <sup>ト</sup>ロン<sup>コ</sup> <sup>ガ</sup>ン<sup>デ</sup>ー<sup>ザ</sup>  
AMBROSIO TRONGCO GANDEZA

学位の種類 博 士 (農 学)

学位記番号 農 博 第 4 3 4 号

学位授与年月日 平 成 4 年 3 月 27 日

学位授与の要件 学位規則第4条第1項該当

研究科専攻 東北大学大学院農学研究科  
(博士課程) 農 学 専 攻

学位論文題目 ポリオレフィンコート尿素肥料の溶出と  
デントコーンによる窒素吸収シミュレ  
ーション  
(Simulation of POLYOLEFIN-COATED  
UREA dissolution under field conditions  
and nitrogen uptake by dent corn)

論文審査委員(主査) 教 授 庄 子 貞 雄  
教 授 星 川 清 親  
教 授 小 島 邦 彦

# 論文内容要旨

ポリオレフィンコート尿素肥料の溶出とデントコーン  
による窒素吸収のシミュレーション

SIMULATION OF POLYOLEFIN-COATED UREA DISSOLUTION UNDER  
FIELD CONDITIONS AND NITROGEN UPTAKE BY DENT CORN

A. T. ガンデーザ

AMBROSIO T. GANDEZA

藤田ら(1983)によって発明されたポリオレフィンコート肥料(POCF)は、革命的な溶出調節型肥料(controlled release fertilizer)であり、広義の緩効性肥料(slow release fertilizer)である。この肥料の膜物質はポリオレフィン、エチレンビニルアセテートとタルクで作られ、これらの混合割合によって溶出スピードと温度依存性( $Q_{10}$ )が決定される。この肥料の溶出は、土壤水分が永久シオレ点以上の場合には(土壤空気の相対湿度は100%)、温度によって第一義的に支配される。

本肥料(POCF)に関する既往の研究は、室内的条件下の溶出特性に関する研究と圃場における施与方法研究が中心であり、圃場におけるPOCFの溶出と植物による吸収利用の相互関係を明らかにした研究はなされていない。そこで本研究は、重窒素ラベル製品を利用してPOCUの圃場における溶出とデントコーンによるNの吸収利用の関係を研究した。

## I. 圃場におけるPOCUの溶出

### 1. 実験方法

#### 圃場試験の設計:

東北大学附属農場(川渡)でトウモロコシ(バイオニア3747)を供試し、窒素肥料としてPOCU-70タイプ(Nとして $10\text{g}/\text{m}^2$ )と硫安(Nとして $5\text{g}/\text{m}^2$ )を施与した。栽培密度は $20\text{cm}\times 70\text{cm}$ 。

#### 土壌の性質:

Alic Melanudand(強酸性の腐植に富む火山灰土)

#### POCUの性質と圃場における溶出測定法:

使用したPOCUは70タイプで、 $25^\circ\text{C}$ の水中で80%を溶出するのに70

日を要する。溶出測定はPOCUを土壌と混ぜて網袋に入れ、作土10cmの深さに埋設する。そして数週間毎にこの袋を取り出し、残っているPOCUの全窒素を測定して溶出量を決定した。

土壤温度と水分の測定：

作土の5cmと10cmの深さで、土壤温度を自動的に測定した。土壤水分はテンシオメーターで測定した。気温データはアメダスを利用した。

2. 得られた成果

1) 圃場でのPOCUの溶出

(1) POCU-Nの累積溶出量(CNR)と施肥日からの日数との関係

POCUのCNRは次の一般式で示された (Fig.1)。

$$CNR = a + b(DAF) + c(DAF)^2$$

a, b, c. は定数

DAFは施肥後の日数。

この式は実測値を使用して次のような対数式に変換される。

$$1988年 \quad \ln CNR = -0.248 + 0.978 \ln DAF \quad r^2 = 0.99^{**}$$

$$1989年 \quad \ln CNR = -0.961 + 1.143 \ln DAF \quad r^2 = 0.97^{**}$$

(tテストで年次間差なし)

(2) CNRと施肥日からの積算平均土壤温度(CST)との関係

テンシオメーターの測定から土壤水分がCNRの制限因子にならないことが明らかにされた。そこでPOCUの溶出はCSTの関数で以下のように対数式で示された。

$$1988年 \quad \ln CNR = -2.817 + 0.937 \ln (CST) \quad r^2 = 0.99^{**}$$

$$1989年 \quad \ln CNR = -3.929 + 1.085 \ln (CST) \quad r^2 = 0.94^{**}$$

(tテストで年次間差なし)

(3) CNRと施肥日からの積算平均気温(CAT)との関係

トウモロコシが生育している圃場での平均気温と平均土壤温度(作土)はほぼ一致することから、CNRは次のようなCATの対数式で示される。

$$1988年 \quad \ln CNR = -2.737 + 0.929 \ln (CAT) \quad r^2 = 0.99^{**}$$

$$1989年 \quad \ln CNR = -3.103 + 0.982 \ln (CAT) \quad r^2 = 0.95^{**}$$

(4) 2ヶ年間のデータを組み合わせた場合のCATとCNR、CSTとCNRの関係

平均気温と平均土壌温度とがほぼ同じであることより、2ヶ年間のデータを組み合わせ、次のような関係式が作成される (Fig. 2)。

$$\text{CATの場合} \quad \ln \text{CNR} = -2.89 + 0.952 \ln \text{CAT} \quad (r^2 = 0.97^{**})$$

$$\text{CSTの場合} \quad \ln \text{CNR} = -2.98 + 0.957 \ln \text{CST} \quad (r^2 = 0.97^{**})$$

これより土壌温度のデータが無くとも、①POCUの溶出過程は平均気温のデータを使って正確に求めることができること、②土壌水分が充分な条件では、POCUの溶解は温度だけの関係で求めることができることが明らかとなった。

2) POCUの特性

POCUの溶出は、20~30℃の間では Fig. 3 にみられるようにCNRが60%以下では0次反応 (直線式)、それ以上では一次反応 (曲線式) となる。この理由は、CNR < 60%では肥料粒子内の尿素が飽和状態での溶出となっており、CNR > 60%では不飽和溶出となるためである。一方15℃以下では飽和溶出であるため0次反応となる。

3) 実験室のデータによる圃場でのPOCU溶出のシミュレーション

POCUの溶出は、温度と溶出率CNRの一次ないし二次式で求められる (Fig. 3)。圃場における土壌温度あるいは気温は常に変化するのので、POCUの溶出は一定期間の平均温度を利用して逐次的に計算して求めなければならない。

Fig. 4 はその計算の手続きを図示したものである。例えば

$D_0$ 日から $D_1$ 日までのPOCUの溶出が温度 $T_1$ で進んだとすれば溶出量 $N_1$ は次式

$$N_1 = \int_{D_0}^{D_1} (\text{Eq. } [T_1]) \quad \dots \dots (1)$$

(Eq. :  $\text{CNR} = a + bD + cD^2$ )

$D_2$ から $D_3$ 日までのPOCUが温度 $T_2$ で進んだとすればその間の溶出量 $N_2$ は次式で得られる。

$$N_2 = \int_{D_2}^{D_3} (\text{Eq. } [T_2]) + N_1 \quad \dots\dots (2)$$

同様に  $D_4$  から  $D_5$  日までの P O C U が温度  $T_3$  で進んだとすればその間の溶出量  $N_3$  は次式で示される。

$$N_3 = \int_{D_4}^{D_5} (\text{Eq. } [T_3]) + N_2 \quad \dots\dots (3)$$

以上の関係式のプログラムを作成し、コンピューターで算出できるようにした。

Fig. 5 は 2 ヶ年の実験結果とコンピューターによって求めた結果を示した。平均土壌温度を使用した場合でも、平均気温を使用した場合でもシミュレーションと極めて良い一致を示した。従って圃場における P O C U の溶出過程は、積算平均土壌温度あるいは平均気温によって正確に予測できることとなった。

## II. 圃場における P O C U-N のトウモロコシによる吸収

### 1. 実験方法

圃場試験の設計: P O C U の溶出試験に使用したものである。

試験区は 3 反復とし、各試験区に重窒素ラベル P O C U と硫酸を施与するためのマイクロプロットを設けた (重窒素含量は 3%)。リン酸、カリ、石灰などは標準量を慣行法によって施与した。

植物のサンプリングと分析:

トウモロコシの生育段階によって数回にわたって採取し、乾物重と N の分析を行った。重窒素の分析は emission spectroscopy による。

### 2. 得られた結果

#### 1) 乾物生産

トウモロコシの乾物は 1988 年に約  $1,000 \text{ g/m}^2$ 、1989 年には  $1,110 \text{ g/m}^2$  で、不良気候の 1988 年でやや劣った (Fig. 6)。Fig. 6a は播種後の日数、Fig. 6b は積算温度の関数で示したものである。

#### 2) P O C U の溶出と植物の吸収

Fig. 7 に P O C U の溶出とトウモロコシによる吸収を示した。トウモ

ロコシのPOCU-Nの吸収(CNU)は、典型的なシグモイドカーブとなり、POCUの溶出(CNR)との差は、特に生育初期で大きかった。この時期は未だ低温で植物が小さいために、養分吸収力が小さく、CNRに比べてCNUが著しく小さい。しかし生育初期の養分吸収は、濃度(強度)因子に大きく依存するために、初期のPOCUの溶出は重要である。トウモロコシは生育中期になると急速に溶出Nを吸収する。これには初期に溶出した分と中期に溶出した分との両者が含まれる。生育後期になるとCNRとトウモロコシの養分吸収能の両者が低下するのでNの吸収曲線の勾配がゆるやかとなる。

CNRとトウモロコシのCNUの吸収の関係は、Fig.8にみられるように施肥後の日数に代わって累積平均気温の関数でもよく表される。

### 3) POCU-Nのトウモロコシによる利用率

Table 1には生育時期別のPOCU-Nの利用率を示した。生育初期では施肥量の9%、溶出量の22%が植物によって利用される(2ヶ年分の平均)。生育中期では、それぞれ56%と73%となり、生育後期になるとむしろ若干減少する。1989年に比べて、1988年の中後期の利用率の低下は、梅雨期の降水量が多いことや日照不足が関係しているとみられる。

### 4) トウモロコシによる硫酸と土壌窒素の吸収

速効性肥料は植物の初期生育の確保に必要であることから、トウモロコシの栽培には速効性窒素肥料として硫酸が使用される。硫酸のN吸収はFig.9にみられるように生育中期の初め頃にほぼ終了する。その利用率はTable 2に示してしるように、1988年には30%、1989年には44%となっていて、栽培期間の気象条件が利用率に大きな影響を与えている。また先に述べたPOCU-Nと比べて利用率がかなり低いことが明らかである。

土壌Nの吸収は、POCUと同じような典型的なシグモイドカーブとなっている(Fig.9)。この吸収曲線は、積算温度でも施肥後の日数の関数でも示される。土壌Nの吸収は、地温が上昇して土壌の有機態Nの無機化が盛んとなる7月以降において著しく増加する。そしてト

ウモロコシの吸収する全Nの大半を占めることになる。

### III. まとめ

東北大学附属農場（川渡）の圃場におけるポリオレフィンコート尿素（POCU）の溶出とトウモロコシのN吸収に関する研究を要約すると以下の通りである。

1. POCUからのNの溶出は温度の関数によって決定される。初期の溶出（肥料粒子内の尿素が飽和段階）は0次反応（溶出過程が一次式で示される）で進み、その後（尿素が不飽和となる段階）は一次反応（二次式）となる。
2. POCUからのNの溶出は、平均土壌温度あるいは平均気温を使用して正確に予測できる方法を、室内の溶出データによって得られる関係式を使用して作成した（コンピュータープログラム化）。その結果、作付期間中のPOCU-Nの溶出は、気温のデータより容易に予測できることとなった。
3. POCU-Nの溶出は、施肥後徐々に速まり、生育後期に至って全Nの約80%が溶出した段階で、溶出がゆるやかとなった（ $CNR = a + b(DAF) + c(DAF)^2$ の二次式で示される）。これに対してトウモロコシのPOCU-Nの吸収は、典型的なシグモイドカーブを示す。生育初期のPOCU-Nの溶出に比べると植物のPOCU-Nの吸収量は少ないが、高濃度のPOCU-Nの溶出は植物の初期のN吸収に有効である。中期における植物のPOCU-Nの高い吸収率は、初期溶出Nの一部と中期の溶出Nを能率的に吸収した結果である。後期はPOCU-Nの溶出の低下と植物の老化が相まって、POCU-N吸収が低下する。
4. POCU-Nの植物による吸収率は速効性N肥料に比べて著しく高く、溶出Nの約8割に達する。これは速効性N肥料の約2倍である。
5. POCU-Nの植物による吸収は土壌窒素のそれとほぼ同じで、植物のニーズに合致する。また施肥が基肥1回で可能であり利用率が高いことから、環境への負荷が小さい。このようなポリオレフィンコート肥料の特性は、理想の肥料の特徴をほぼ満足するものである。

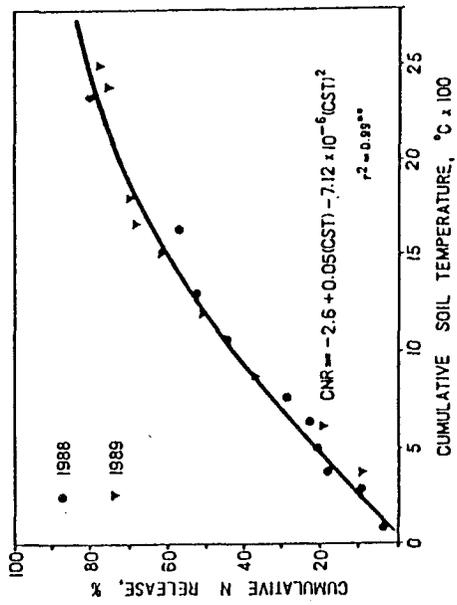
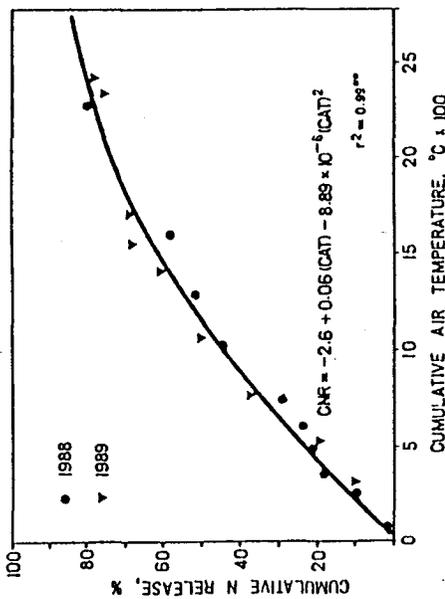


Fig. 2. Observed N dissolution from polyolefin-coated urea with cumulative air and soil temperature.

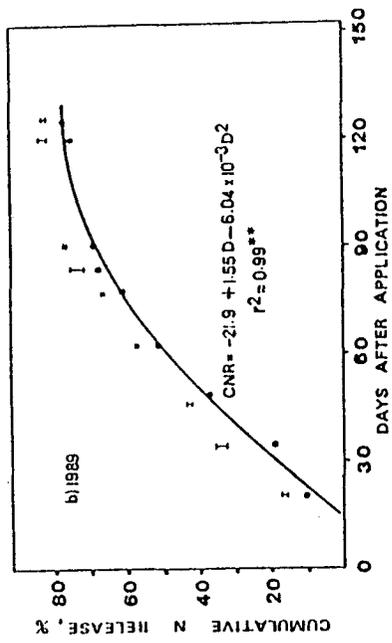
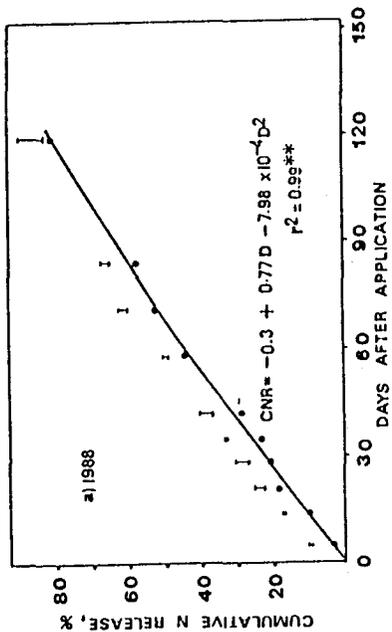


Fig. 1. Observed N dissolution from polyolefin-coated urea with time.

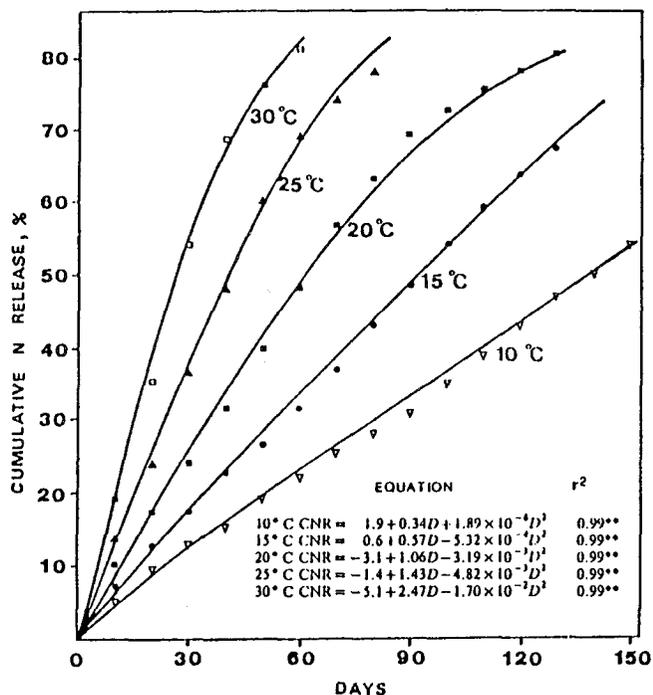


Fig. 3. Nitrogen dissolution from polyolefin-coated urea in water at various temperatures (data kindly provided by Dr. Fujita, Chisso Asahi Fertilizer Co., 1990). Lines drawn are the predicted curves.

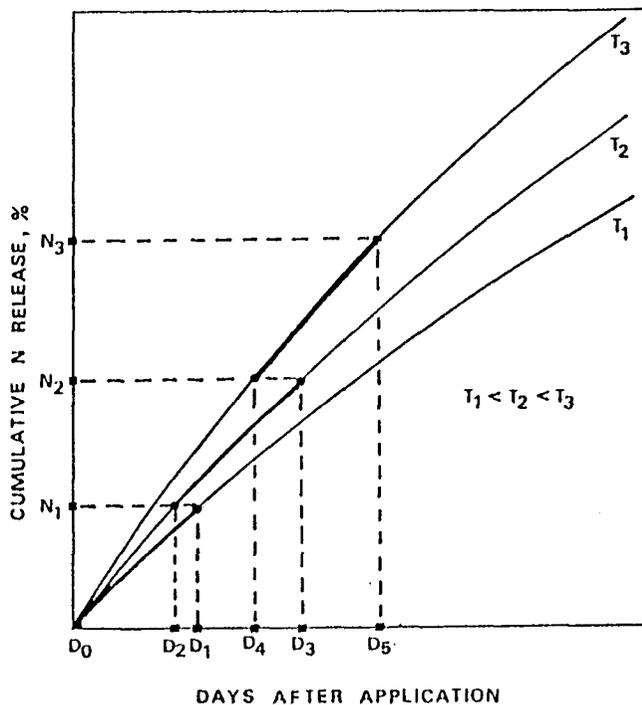


Fig. 4. Procedure for computing N release from polyolefin-coated urea using the temperature prevailing in the field.

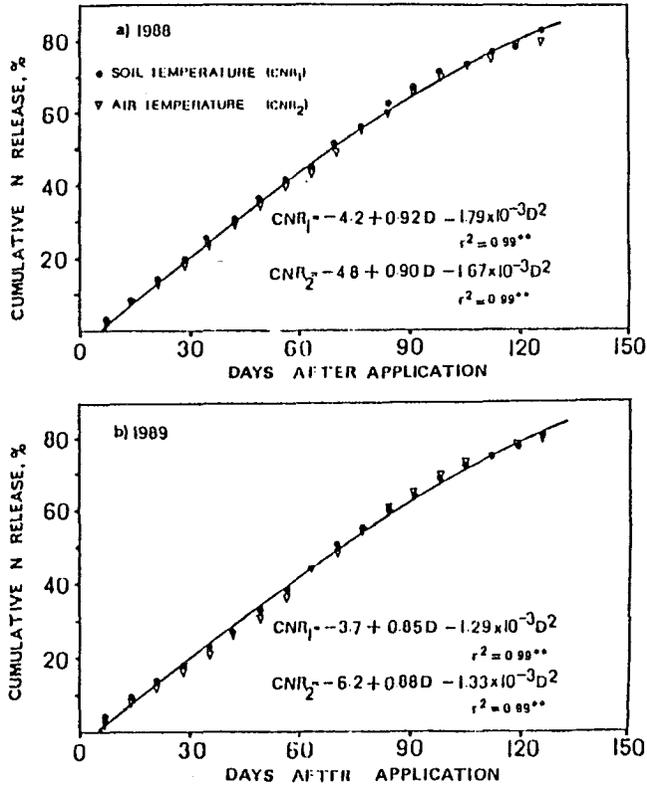


Fig. 5. Nitrogen release from polyolefin-coated urea in the field, computed using air and soil temperatures.

Table 1 Recovery of polyolefin-coated urea (POCU-70) by Pioneer brand 3747 corn with time, based on simulated values.

Growth stage	Days after sowing	POCU dissolved		Plant POCU-N uptake		Recovery			
		1988	1989	1988	1989	Absolute†		Relative‡	
		g/m <sup>2</sup>		g/m <sup>2</sup>		1988	1989	1988	1989
Early	48/49	3.67	4.19	0.98	0.72	10	7	27	17
Middle	104/105	7.42	7.94	4.93	6.32	49	63	66	79
Harvest	125/126	8.69	8.37	4.88	6.55	49	66	56	78

† Total-POCU-70 basis.

‡ Dissolved-POCU-70 basis.

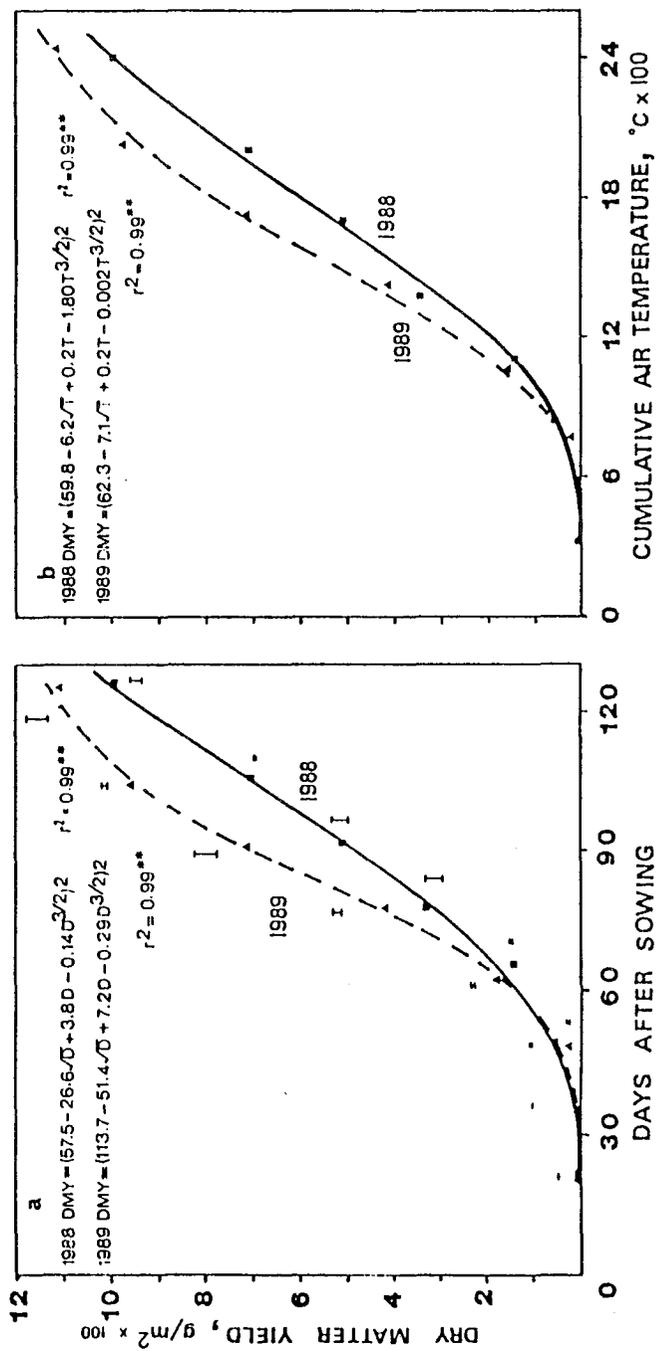


Fig. 6 Dry-matter yield of corn fertilized with polyolefin-coated urea and ammonium sulfate expressed as a function of (a) time and (b) cumulative air temperature.

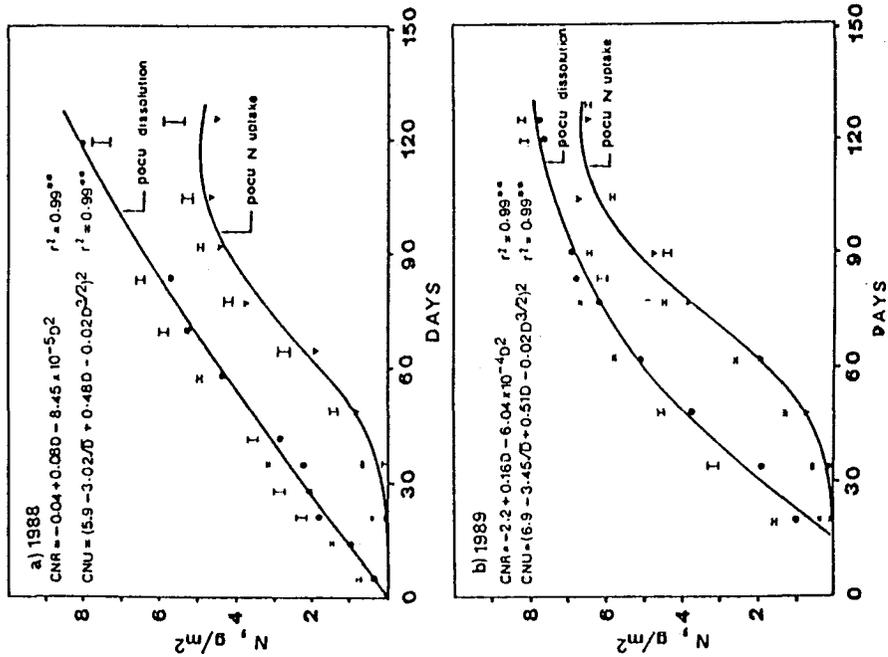


Fig. 7 Relationship of cumulative N release (CNR) from polyolefin-coated urea (POCU) and POCU N uptake of corn expressed as a function of time (CNR from Gandeza et al., 1991). *D* is days after fertilizer application.

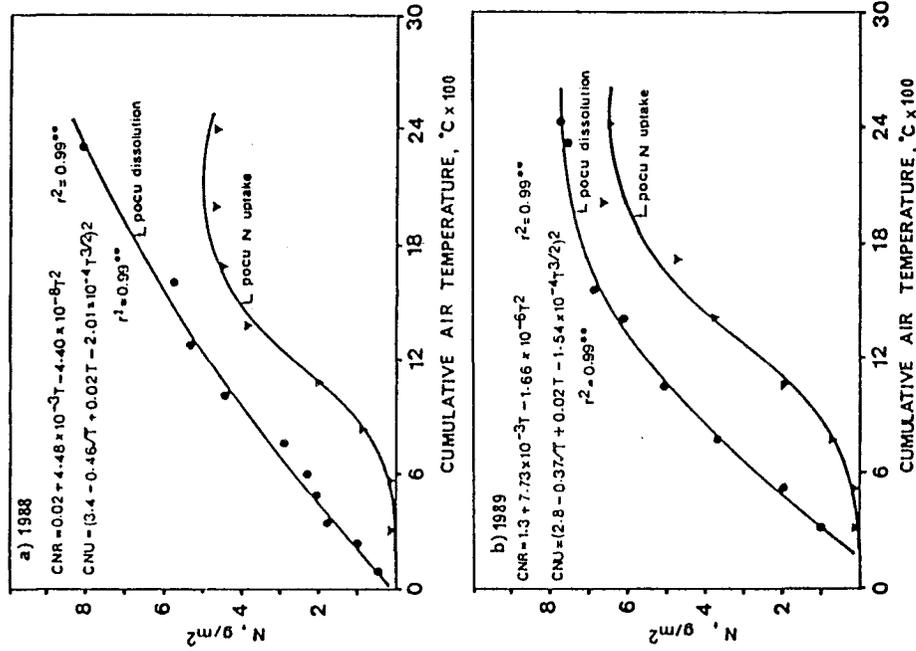


Fig. 8 Relationship of cumulative N release (CNR) from polyolefin-coated urea (POCU) and POCU N uptake by corn expressed as a function of cumulative air temperature (CNR from Gandeza et al., 1991). *T* is cumulative air temperature.

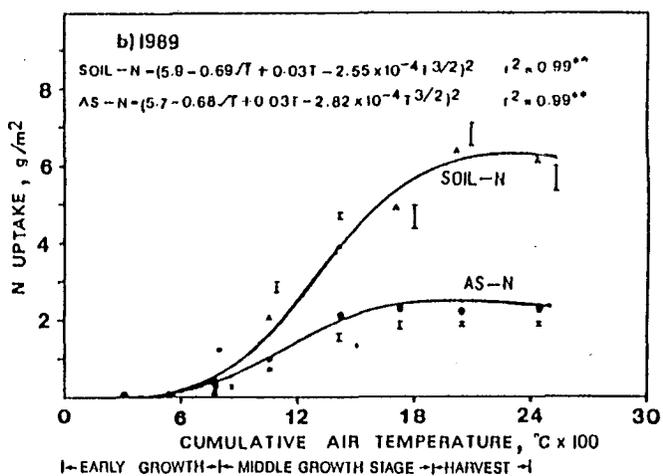
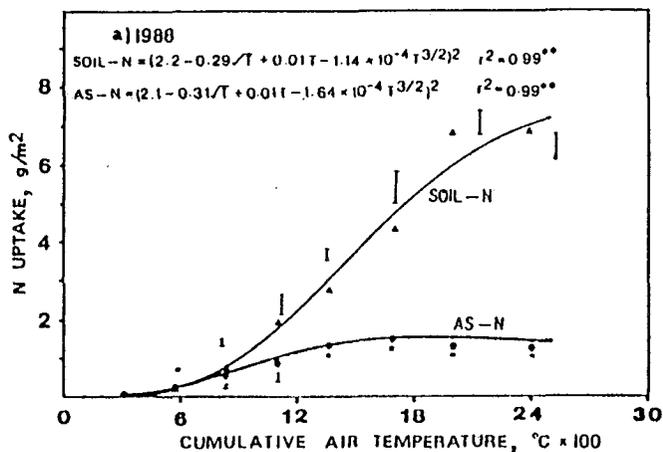


Fig. 9 Relationship between N uptake from ammonium sulfate (AS) and soil N by corn and cumulative air temperature (T).

Table 2 Recovery of ammonium sulfate (AS) and soil N by Pioneer brand 3747 corn with time, based on simulated values.

Growth stage	Days after sowing	AS uptake		AS recovery		Soil-N uptake	
		1988	1989	1988	1989	1988	1989
		g/m <sup>2</sup>		%		g/m <sup>2</sup>	
Early	48/49	0.52	0.37	10	7	0.76	0.44
Middle	104/105	1.56	2.35	31	47	5.84	6.52
Harvest	125/126	1.51	2.22	30	44	7.30	6.10

## 審査結果の要旨

藤田ら(1983)によって発明されたポリオレフィンコート肥料は、優れた溶出調節型肥料である。この肥料は、温度依存性( $Q_{10}$ )が植物の生理作用とマッチするように $Q_{10}=2$ とされ、その溶出スピードは土壌水分が永久シオレ点以上の場合には、温度によって第一義的に決定される。本研究では、重窒素ラベル製品を利用して、溶出調節型のポリオレフィンコート尿素肥料(POCU-70タイプ)の圃場における溶出過程とそのシミュレーション、デントコーンによるN吸収と生育の関係を研究した。

### 1. 圃場におけるPOCUの溶出

東北大学附属川渡農場の黒ボク畑において、トウモロコシ栽培条件下で、20cm×70cmの栽培密度で播種し、POCUの溶出を追跡した。POCUの溶出は、施肥日からの日数、積算平均土壌温度、積算平均気温との二次式で示された。その溶出は、積算溶出量60%まではほぼ直線的、それ以上では曲線的となった。これは前者が飽和溶出で0次反応、後者は不飽和溶出で1次反応によるためである。

### 2. POCUの溶出過程のシミュレーション

著者は、室内での一定温度条件下でのPOCUの溶出データを利用して二次式を作成し、さらに変温条件下で予測できる一般式を、これらの二次式を段階的に積分することによって作成する方法を考察した。この一般式は、圃場における実測値と極めて良い一致をみせ、平均気温を使用した場合でもシミュレーションが正確であることを明らかにした。

### 3. 圃場におけるPOCU-N、硫安-Nおよび土壌-Nのトウモロコシによる吸収

トウモロコシによるPOCU-Nの吸収は、シグモイドカーブを示し、生育後期まで吸収が継続した。これをPOCU-Nの溶出と比較すると、低温で植物が小さい時期の吸収量が溶出量に比べて小さく、中期になって急速に増加する。POCU-Nの溶出が初期に比較的が多いことは、植物の初期生育に有効である。一方硫安のNは、初期から中期にかけて吸収が盛んに行われる。地温の上昇につれて無機化する土壌窒素は、生育の中～後期に盛んに吸収され、POCU-Nより、やや後まざりであった。なおPOCU-Nの利用率は、溶出Nの約8割に達し、速効性Nの約2倍という高い値であった。

本研究は、POCUが植物のNニーズにマッチし利用率が高くかつ基肥1回施与が可能であることより、単に施肥の省力化・計画化のみならず環境負荷を軽減できる施肥法の有り方を示唆した。

以上の研究成果から、著者は博士(農学)の学位を授与されるに十分な資格があるものと判定された。