

## (56) トウモロコシからのリン抽出方法の検討

永禮 英明<sup>1\*</sup>・井上 司<sup>2</sup>・藤原 拓<sup>3</sup>・赤尾 聡史<sup>4</sup>・前田 守弘<sup>1</sup>・山根 信三<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 岡山大学大学院環境学研究科 (〒700-8530 岡山市北区津島中3-1-1)

<sup>2</sup> 北見工業大学大学院 (〒090-8507 北海道北見市公園町165)

<sup>3</sup> 高知大学教育研究部自然科学系農学部 (〒783-8502 高知県南国市物部乙200)

<sup>4</sup> 鳥取大学大学院工学研究科 (〒680-8552 鳥取県鳥取市湖山町南4-101)

\* E-mail: nagare-h@cc.okayama-u.ac.jp

畑地に散布された肥料の多くは土壤中に蓄積されている。クリーニングクroppと呼ばれる吸肥能力の高い植物に土壤中の過剰肥料を吸収させ畑地から取り出し、取り出したバイオマスからポリ乳酸等の有機物を生成する傍ら、その残渣から窒素およびリンを抽出し資源として再利用するための技術開発を行っている。本研究では、バイオマスからのリン抽出における抽出条件と効率とについて実験的に検討を行った。飼料用トウモロコシを粉砕し1% NaOH溶液または蒸留水に浸漬する回分式実験を実施したところ、24時間後に試料中の78%以上のリンが液側へ抽出された。また、L-乳酸発酵前処理段階におけるリン収支を把握したところ、前処理段階において84%のリンが液側へ移行していた。これらのことから、バイオマス破砕物を1% NaOH溶液または蒸留水に浸漬することで、バイオマス中のリンを効率よく抽出できることが明らかとなった。

**Key Words :** Phosphorus, recovery, biomass, extraction, lactic acid fermentation

### 1. はじめに

農業生産の場である畑地には、過去、長きにわたり肥料が投入されてきた。その結果、現在では畑地土壤中に高濃度のリンが蓄積されている。雨天時にはリンを含む土壌が流出し閉鎖性水域への負荷となり、富栄養化の原因となっている。その一方、肥料の原料となるリン鉱石は世界の限られた地域でしか産出されず<sup>1)</sup>、現在の消費と生産が継続すれば今後100年程度で鉱石が枯渇すると言われている<sup>2)</sup>。世界の人口は61億人(2000年)から89億人(2050年)へと約1.5倍増加すると見込まれており<sup>3)</sup>、それにみあった食料生産が不可欠であるが、限られたリン資源が食糧供給を不安定にする可能性がある。実際、一昨年には日本のリン鉱石輸入量の約4割を供給する中国において供給不足が生じ、日本国内のリン鉱石の価格は大幅に上昇した。1990年からのリン輸入量と平均輸入価格の推移<sup>4)</sup>を図-1に示す。価格は2008年に前年の2.1倍、5年前の3.5倍に相当する37千円/tonにまで上昇し、翌年(2009年)はさらに高騰し40千円/tonとなった。価格の上昇とともにリン鉱石としての

輸入量も減少し、2009年の輸入量は1990年の1/3、2000年の1/2となる48万tonにとどまった。

このような背景のもと、国内ではリンを循環利用するための技術開発が進められてきた。特に一般家庭から排出されるし尿・雑排水には輸入量の1割に相当するリンが含まれており<sup>5)</sup>、回収・再利用の主要なターゲットと見なされ、多くの研究開発が行われてきた。リン酸マグネシウムアンモニウムがリンと窒素を含む緩効性肥料

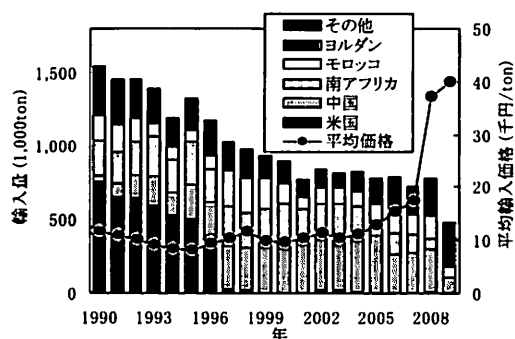


図-1 リン鉱石輸入量と平均輸入価格の推移<sup>4)</sup>

として利用可能なことは早くから知られており<sup>6)</sup>、このリン酸マグネシウムアンモニウムを下水処理場の消化槽や反応タンクにおいて生成・回収する検討が行われてきた<sup>7-9)</sup>。カルシウムを使う結晶化技術も研究例が多い<sup>10-19)</sup>。

これら技術が回収対象とするのは下水に含まれるリン、すなわちその多くはヒトが食料を通じて摂取したものに限定される。しかし、食料生産が行われる畑地において、肥料として畑に投与されるリン量の多くは作物としては回収されず、畑地土壤中に残存する<sup>5, 10)</sup>。従って、下水からの回収量には自ずと限界が生じ、より高い回収・再利用を行うためには畑からの回収を検討しなければならない。

一方、畑地・茶園・樹園地・施設園芸ハウス等での過剰施肥に起因する硝酸性窒素( $\text{NO}_3\text{-N}$ )による地下水汚染は大きな問題となっており、その対策が喫緊の課題となっている。施設園芸栽培では塩類集積による植物生育阻害を防ぐ目的で休耕期に行う湛水の結果、硝酸性窒素による地下水汚染に加えて温室効果ガスである亜酸化窒素( $\text{N}_2\text{O}$ )の放出も引き起こされることが明らかになっている<sup>17)</sup>。これに対応した面的な対策技術として、筆者らはクリーニングクロップと呼ばれる吸肥能力の高い植物による浄化技術の開発を試みており、クリーニングクロップ種に関しては窒素溶脱抑制の観点からトウモロコシが適しているとの結果を得ている<sup>18)</sup>。また、取り出したバイオマスからポリ乳酸等の有価物を生成する傍ら、その残渣から窒素およびリンを抽出し、資源として再利用するための技術開発を行っている<sup>19, 20)</sup>。本研究では、成長したトウモロコシからリンを抽出する方法について検討を行うとともに、ポリ乳酸生成のためのL-乳酸発酵前処理段階でのリン収支の把握を行った。

## 2. 実験方法

### (1) 使用したバイオマス試料

北海道足寄郡陸別町にある畜産農家の畑地で栽培された飼料用トウモロコシ(デントコーン KD375)を使用した。本トウモロコシは約 76,000 株/ha の密度で平成 21 年 5 月 20 日～9 月 25 日の約 4 ヶ月間栽培されたものである。畑地には乳牛の糞尿から作った堆肥(4t/10a)と化学肥料(N・P 含有率 13%・7.8%, 60kg/10a)が施肥されている。採取したトウモロコシを部位別(茎、葉、穀粒、穂軸、皮)に分けた後、60℃で恒量をえるまで乾燥させたものを各々家庭用調理器(ミル)で 30 秒間粉碎し実験に供した。

### (2) トウモロコシの成分分析

各部位について含有する成分量を外部分析機関に依頼し測定した。測定法は五訂増補 日本食品標準成分表分析マニュアル<sup>22)</sup>に準拠した。

### (3) 回分式実験によるリン抽出方法の検討

50 mL 遠沈管にて回分式のリン抽出実験を行った。乾燥試料 200 mg に 1% NaOH 溶液または蒸留水を 50 mL を加え、温度 20℃または 80℃にて 24 時間静置した。1% NaOH 溶液は後述する発酵前処理で使用しているものであり、蒸留水は NaOH 溶液に対する比較対象として位置づけている。24 時間後、ガラス繊維ろ紙(Whatman GF/B)にてろ過を行い、ろ液について水質分析を行った。実験は部位別に行い、同じ部位について 3 回の繰り返し実験を行った。

### (4) 発酵前処理段階でのリン収支の把握

後述するように、(3)で実施する回分式実験において比較的容易に植物中のリンが抽出された。そこで、L-乳酸発酵におけるリン回収のポイントを前処理段階に絞り検討するため、前処理過程におけるリン収支を把握した。

前処理はアルカリ溶液による処理と洗浄過程からなり、各々次のように操作<sup>23, 24)</sup>した。

[アルカリ溶液処理] 1% NaOH 溶液 30mL に対しトウモロコシ破砕物を 10%(w/v)添加し、24 時間室温にて静置した。なお、このトウモロコシは部位別に分けたものを元来の重量比に応じ混合し直したものを使用した。

[洗浄] 後述する固液分離により得られたアルカリ溶液処理後の固形物に 0.1M 酢酸緩衝液(pH 4.5) 20mL を添加し、直ちに遠心分離を行い、これを 3 回繰り返した。

固液分離は遠心分離(日立 05P-21B, 3000rpm × 15min)にて行い、駒込ピペットにより上澄水を採取した。上澄水採取量は電子天秤(Sartorius LA230S)によりその重量を測定することで把握した。以下、アルカリ溶液処理後の固液分離で得られた液を前処理液、洗浄過程で得られた液を洗浄液と呼ぶ。

### (5) 水質分析

得られた抽出液、または発酵過程の前処理液、洗浄液中に含まれる溶解性全リン(DP)濃度は ICP 発光法(SII Vista)、またはベルオキシニド硫酸カリウム分解後にモリブデン青法にてリン酸濃度を測定<sup>25)</sup>した。また、リン酸態リン( $\text{PO}_4\text{-P}$ )は直接モリブデン青法にて定量した。DP には  $\text{PO}_4\text{-P}$  以外に有機態リン、縮合リンが含まれる<sup>26)</sup>が、本論文では  $\text{DP}-(\text{PO}_4\text{-P})$  として計算される画分を有機態リン(DOP)として表す。

表-1 使用したトウモロコシの平均構造 (n=10)

| 部位   | 数量<br>(株 <sup>-1</sup> ) | 長さ<br>(cm) | 湿重量   |      | 含水率<br>(%) | 含有率 (mg/gDW) |        |       |       |       |       |
|------|--------------------------|------------|-------|------|------------|--------------|--------|-------|-------|-------|-------|
|      |                          |            | (g/株) | (%)  |            | C            | N      | P     | K     | Ca    | Mg    |
| 茎    | 1 本                      | 285        | 423   | 44   | 84         | 446          | 3.4    | 1.1   | 15.9  | 0.6   | 0.4   |
| 葉    | 10.7 枚                   | 72         | 143   | 15   | 76         | 409          | 24.6   | 2.9   | 11.8  | 5.1   | 1.4   |
| 実    | 2.4 本                    | —          | 389   | 41   | 58         | —            | —      | —     | —     | —     | —     |
| (穀粒) | —                        | —          | (206) | (22) | (51)       | (435)        | (15.9) | (2.8) | (3.7) | (0.1) | (1.1) |
| (穂軸) | —                        | —          | (116) | (12) | (63)       | (457)        | (3.4)  | (0.8) | (4.4) | (0.1) | (0.2) |
| (皮)  | —                        | —          | (67)  | (7)  | (68)       | (442)        | (4.8)  | (1.7) | (5.8) | (0.7) | (0.5) |
| 雄穂   | —                        | 19         | 2     | <1   | —          | —            | —      | —     | —     | —     | —     |
| 全体   | —                        | 304        | 956   | 100  | 72         | 439          | 10.9   | 2.0   | 8.1   | 0.9   | 0.8   |

### 3. 結果及び考察

#### (1) トウモロコシの構造と成分

本研究に使用したトウモロコシの平均構造 (n=10) を表-1 に整理する。全長は約 3m、重さ 1kg 程度と十分に成長していたものの、天候不順の影響により実は平均 2.4 本にとどまり、穀粒も未成熟なものが多く見られた。含水率は全体で 72%であるが、部位別では茎 (82%) でもっとも高く、葉 (76%)、実 (58%) になるほど低下した。中でも穀粒は 51%と含水率が低く乾燥していた。

炭素、窒素、リン他の含有率を同表中に示す。リン含有率は全体では 2.0 mgP/gDW であるが、穂軸 (同 0.8) と茎 (同 1.1) で低く、葉 (同 2.9) と穀粒 (同 2.8) で高い。重さを支える骨格部分において低く、それ以外の部位で高いという傾向にある。

窒素の含有率は全体で 10.9 mgN/gDW、部位別に高いものと低いものとがあり、窒素含有率とリン含有率の間にはある程度の相関関係が見られた (図-2 を参照)。これに対し、炭素はいずれの部位においてもほぼ同程度含まれ、部位による違いは小さい。

本研究で採取したトウモロコシの植栽密度は約 76,000 株/ha であったので、1ha の畑で収穫されたトウモロコシには炭素 9,000 kgC、窒素 220 kgN、リン 40 kgP が含まれていたことになる。この畑では化学肥料以外に堆肥も施肥されており、施肥全量是不明であるが、化学肥料としての施肥量に対するトウモロコシとしての

元素回収量を計算すると、化学肥料施肥量が窒素として 78 kgN/ha、リンとして 47 kgP/ha であるので、トウモロコシには化学肥料として施肥された量の 280% (窒素)、85% (リン) が含まれていた計算となる。

上述の通り堆肥量が不明であるが、牛の排泄量から堆肥量を推計すると以下になる。この畑には 50 頭の乳牛から排泄される糞尿が堆肥として施肥されている。乳牛の窒素・リン排泄原単位を各々 306 gN/頭/d、44.2 gP/頭/d<sup>20</sup> とし、堆肥化過程での揮散等による損失を考慮せずに全量が畑へ還元されたとする。この場合、1 年間の堆肥施肥量は 2,230 kgN/ha、323 kgP/ha と計算される。これに先の化学肥料分を加味し、トウモロコシによる吸収量を計算すると施肥量の 9.5%、11%となる。

トウモロコシの成分分析結果を図-3 に示す。水分以外の成分では炭水化物が多く、15 (茎) ~40% (穀粒) で存在した。脂質はいずれの部位においても含有量が少なく、最も多い穀粒でも 3%であった。タンパク質も多くはないが、部位としては葉と穀粒で比較的多く各々 4%、5%であった。

#### (2) 回分式実験によるリン抽出方法の検討

図-4 に回分式実験での抽出結果を示す。また、DP としての抽出率を数値として整理したものを表-2 に示す。

抽出液として乳酸発酵前処理と同じ 1% NaOH を使用したケース (a および c) では、含有されるリンの 57~92% (20℃, ケース a), 52~87% (80℃, ケース c) で抽出

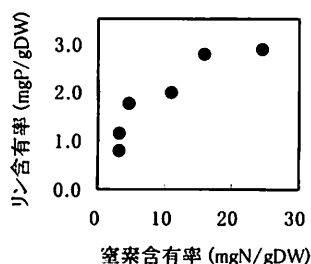


図-2 トウモロコシ中窒素-リン含有率の相関図

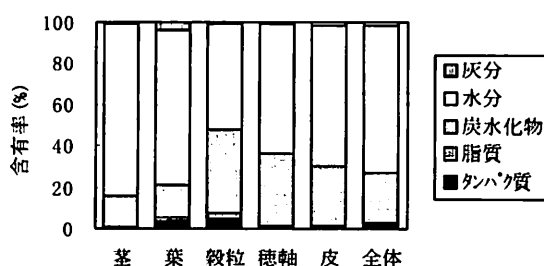


図-3 トウモロコシの部位別成分組成

された。部位別では 20℃の場合、皮の部分で最も抽出率が高く (92±4%)、茎、穀粒、穂軸においても比較的高い抽出率が得られた (80~85%)。ただし、葉については他と異なり 57±2%と低い率にとどまった。80℃においてもこの傾向は同様であるが、茎と皮での抽出率が 10%程度低下する一方、穀粒では 7%向上した。部位別の結果をもとに計算したトウモロコシ全体 (表-1 に示した平均構造を有する 1 本あたり) での抽出率は、20℃で 79±2%、80℃で 78±2%と、約 8 割のリンが抽出されたことになり、1% NaOH 溶液に浸漬するだけでバイオマス中のほとんどのリンを抽出できた。

一方、対象系として実施した蒸留水の場合では、NaOH を使用した場合に抽出率が低かった葉で 78±4% (20℃)、85±1% (80℃) へと向上し、穀粒、皮でも各々 7~8%、6~18%向上した。一方、20℃では茎において 78±1%と NaOH の場合よりも 7%低く、全体としては 80±1% (20℃) と NaOH を使用した場合と同程度となった。

80℃の場合は茎の抽出率は 97±1%とむしろ NaOH の場合よりも高く、全体では 92±2% (80℃) と今回実施した 4 条件の中では最も高い抽出率が得られた。このことは、リンの抽出ということだけを考えるなら、アルカリ処理を行う必要はなく、むしろ熱水を使用した方がよいことを示している。

得られたリンの形態としては、リン酸マグネシウムアンモニウム等の結晶化において反応に与する  $PO_4\text{-P}$  は全抽出リンの 29~62%にとどまった。特に、NaOH を使用した場合の葉と穂軸で 29~32%と低い。下水汚泥から抽出したリンにおいては、 $PO_4\text{-P}$  以外のリンも結晶化に取り込まれるが<sup>13)</sup>、本研究のような植物から抽出したリンにおいてどこまで  $PO_4\text{-P}$  以外のリンが結晶化するのか把握する必要がある。

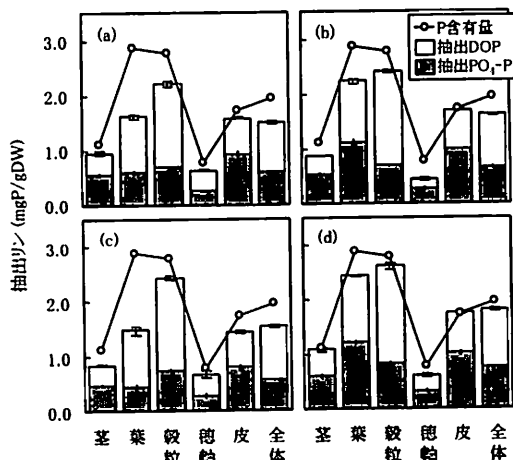


図-4 トウモロコシ (部位別) からのリン抽出結果  
(a: NaOH 20℃, b: 蒸留水 20℃, c: NaOH 80℃, d: 蒸留水 80℃)

表-2 回分式実験での部位別抽出率

|    | (a) NaOH<br>20℃ | (b) 蒸留水<br>20℃ | (c) NaOH<br>80℃ | (d) 蒸留水<br>80℃ |
|----|-----------------|----------------|-----------------|----------------|
| 茎  | 85±5%           | 78±1%          | 74±4%           | 97±1%          |
| 葉  | 57±2%           | 78±4%          | 52±5%           | 85±1%          |
| 穀粒 | 80±2%           | 88±1%          | 87±1%           | 94±3%          |
| 軸  | 81±3%           | 55±6%          | 83±13%          | 78±6%          |
| 皮  | 92±4%           | 98±1%          | 83±4%           | 101±1%         |
| 全体 | 79±2%           | 80±1%          | 78±2%           | 92±2%          |

以上のように、全抽出リンに占める  $PO_4\text{-P}$  の割合が十分とはいえないものの、破碎したトウモロコシを蒸留水、または 1% NaOH 溶液に浸漬することで 24 時間以内にトウモロコシ中リンの 78%以上が液側に移行することが明らかとなった。

### (3) 発酵前処理段階でのリン収支の把握

上述のように、トウモロコシ破碎物からはリンが容易に液中へ溶出する。発酵前処理段階においても同様のことが生じていると考え、本段階におけるリンの収支を把握した。前処理液、洗浄液中のリン濃度と溶出率を図-5 に示す。

前処理液中の全リン濃度 (DP) は 157 mgP/L と極めて高い。 $PO_4\text{-P}$  濃度は DP の 39%にとどまるが、濃度は 61 mgP/L に達している。洗浄を重ねるに従い濃度は低下し、最終的には DP 19 mgP/L、 $PO_4\text{-P}$  8 mgP/L となった。

トウモロコシ中リンに対する溶出率では、前処理液では  $PO_4\text{-P}$  として 18%、 $PO_4\text{-P}$  と DOP を合わせた DP として 47%、同様に洗浄液では 1~3 回目の合計で  $PO_4\text{-P}$  として 15%、DP として 37%であった。前処理液と洗浄液の合計では 84%となり、トウモロコシに含まれていた大半のリンが液側に溶出していた。これらの結果を整理しリンの収支図を作成した。結果を図-6 に示す。

前処理液のみでの溶出率 47%は (2) で示した回分式実験での結果よりも低い。これは、(2) の固形物濃度が 0.4% (=200mg/50mL) であるのに対し、本実験でのそれは 10% (=3g/30mL) であり、本実験では前処理での固液分離後に、より多くの液が試料中に残存し回収しきれなかったためと考えられる。しかし、その後、洗浄を繰り返すことで試料とともに残存した液中のリンも回収でき、最終的に 84%という高い溶出率が得られた。

本実験で採用した前処理操作では固液分離を行っているのに対し、実際の発酵プロセスにおいては必ずしも固液分離が行われるとは限らない。しかし、今回の結果から、固液分離が行われない場合においても前処理の前段においてバイオマスを水に浸漬することでリンを取り出し、回収することが可能と考えられる。

本来、クリーニングクロップを用い土壌中の過剰肥料

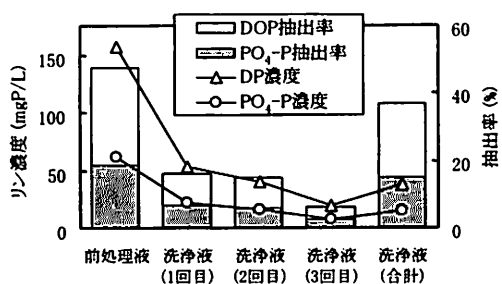


図-5 発酵前処理過程でのリン抽出率と抽出液中濃度

を吸収させる場合、クロープを農閑期に人手をかけずに栽培することが望ましい。筆者らが導入を検討している高知県のハウス栽培における農閑期は2ヶ月であり、クロープとしてのトウモロコシの栽培期間もこの程度となる。それに対し本研究で使用したトウモロコシは倍の4ヶ月間栽培されたものである。2ヶ月間の栽培では実がつかず、茎と葉のみから構成されること、葉が全乾燥重量の67%（本研究での試料では13%）と多いことが分かっている。このような違いはあるものの、本研究においてリンの含有量が比較的多い葉から良好にリンが抽出されていたことから、実際のクリーニングクロープとして栽培したトウモロコシにおいても同様の溶出・回収が期待できる。

#### 4. 結論

本研究では、クリーニングクロープとしての適用が検討されているトウモロコシに含まれるリンを回収・再利用するための基礎技術として、トウモロコシ破砕物からのリン抽出方法について検討を行った。得られた成果を以下に整理する。

- 1) 飼料用トウモロコシの平均構造・含有成分を把握した。リンの平均含有率は2.0 mgP/gDWであり、部位によって異なった。茎・穂軸などの骨格部分においては低く、それ以外の部位で高かった。
- 2) 植栽密度から計算されるトウモロコシ収穫に伴う畑地からの持ち出し量は1haあたり炭素9,000 kgC、窒素220 kgN、リン40 kgPであった。
- 3) 回分式実験によりトウモロコシからのリン抽出条件（抽出液1% NaOH/蒸留水、温度20/80℃）について検討した。最も高い抽出率が得られたのは蒸留水-80℃の場合で、トウモロコシ1本に含まれるリンの92±2%のリンが抽出された。その他の条件においても78~80%のリンが抽出され、1% NaOH溶液または蒸留水に浸漬するだけでトウモロコシに含まれるリンの大半を抽出できることが明らかになった。
- 4) 抽出されたリンに含まれるPO<sub>4</sub>-Pの割合は29~62%であった。

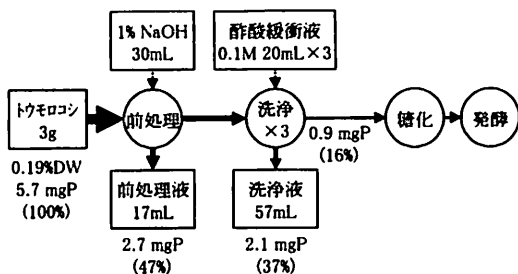


図-6 L-乳酸前処理過程でのリンの収支

- 5) L-乳酸発酵前処理段階におけるリン収支を把握した。トウモロコシ中の47%が前処理液に、37%が洗浄液に移行し、合計84%のリンが液とともに回収された。

以上の結果、トウモロコシ中のリンが容易に液中へと移行することが明らかとなり、L-乳酸発酵前処理段階においてトウモロコシ等のバイオマスからリンを抽出できることが示された。抽出液に対し結晶化を行うことで、リンを固形物として回収することができると考えられる。

謝辞：本研究はJST、CRESTおよび科学研究費補助金基盤研究(B) (21310054)の補助により行われた。

#### 参考文献

- 1) Vaccari, D.A.: Phosphorus: A Looming Crisis, *Scientific American*, 54-59, 2009.
- 2) Steen, I.: Phosphorus availability in the 21st century: Management of a non-renewable resource, *Phosphorus and Potassium*, 217, 25-31, 1998.
- 3) UN: World Population to 2300, 2004.
- 4) 財務省貿易統計
- 5) 手塚和彦, 能智美佳, 須藤隆一: わが国における窒素・リンの循環とその収支, 用水と廃水, 44(7), 13-20, 2002.
- 6) Bridger, G.L. and R.W. Staroska: Metal Ammonium Phosphates as Fertilizers, *Agri. and Food Chem.*, 10(3), 181-188, 1962.
- 7) 津野 洋, 宗宮 功, 吉野 正章: 消化槽脱離液からのストラバイトの回収に関する研究. 下水道協会誌論文集, 28(324), 68-77, 1991.
- 8) Maqueda, C., J.L. Pérez Rodríguez, J. Lebrato: Study of struvite precipitation in anaerobic digesters, *Wat. Res.*, 28(2), 411-416, 1994.
- 9) Fujimoto, N., T. Mizuochi, Y. Togami: Phosphorus fixation in the sludge treatment system of a biological phosphorus removal process, *Wat. Sci. Tech.*, 23(4-6), 635-640, 1991.
- 10) Saktaywin, W., H. Tsumo, H. Nagare, T. Soyama: Advanced sewage treatment process with excess sludge reduction and

- phosphorus recovery, *Wat. Res.* 39, 902-910, 2005.
- 11) Saktaywin, W., H. Tsuno, H. Nagare, T. Soyama: Operation of a new sewage treatment process with technologies of excess sludge reduction and phosphorus recovery, *Wat. Sci. Tech.*, 53(12), 217-227, 2006.
  - 12) 津野 洋, 永禮英明, W. Saktaywin, 早山恒成: 污泥削減・リン回収型生物学的下水高度処理プロセスの開発, *下水道協会誌*, 44(531), 151-161, 2007.
  - 13) 永禮英明, 津野 洋, W. Saktaywin, 早山 恒成: オゾンによる污泥減容化とリン回収を導入した高度下水処理プロセスでのリン回収方法の検討, *環境工学論文集*, 46, 469-475, 2009.
  - 14) Van Dijk, J.C., H. Braakensiek: Phosphate removal by crystallization in a fluidized bed, *Wat. Sci. Tech.*, 17, 133-142, 1985.
  - 15) Berg, U., D. Dornert, P.G. Weidler, E. Kaschka, G. Knoll, R. Nüesch: Phosphorus removal and recovery from wastewater by tobermorite-seeded crystallisation of calcium phosphate, *Wat. Sci. Tech.*, 53(3), 131-138, 2006.
  - 16) Nagare, H. and H. Tsuno: Phosphorus Budget in Lake Biwa Watershed and Impact of a phosphorus-recovery technology, *Proceedings of the 15<sup>th</sup> KAIST-KYOTO-NTU-NUS Symposium on Environmental Engineering*, 201-207, 2006.
  - 17) 貞松篤志, 藤原 拓, 大年邦雄, 前田守弘: 施設園芸ハウスにおける湛水が亜酸化窒素の生成・放出に及ぼす影響, *環境工学研究論文集*, 45, 459-466, 2008.
  - 18) 近藤圭介, 藤原 拓, 大年邦雄: クリーニングクロップによるハウス土壌集積窒素の除去に関する基礎的検討, *環境工学研究論文集*, 46, 313-319, 2009.
  - 19) 井上賢大, 近藤圭介, 藤原拓, 大年邦雄, 山根信三, 前田守弘, 永禮英明, 高岡昌輝, 赤尾聡史: クリーニング作物によるハウス土壌の面的浄化と収穫物資源化を目指した組成解析, 第 13 回日本水環境学会シンポジウム講演集, 67-68, 2010.
  - 20) 前田光太郎, 赤尾聡史, 増田貴則, 細井由彦, 藤原拓: 高温 L-乳酸発酵における粗タンパク質・粗脂肪の影響, 第 44 回日本水環境学会年会講演集, 490, 2010.
  - 21) Akao, S., Y. Sakae, Y. Hosoi, H. Nagare, M. Maeda and T. Fujiwara: Fermentation of Lignocellulosic Biomass Derived Sugars to L-Lactate by Thermophilic *Bacillus coagulans*, *Proceedings of the 12<sup>th</sup> IWA specialist conference on anaerobic digestion*, Guadalajara, in press.
  - 22) 安本教傳, 安井明美, 竹内昌昭, 渡邊智子 編: 五訂増補日本食品標準成分表分析マニュアル, 建帛社, 2006.
  - 23) 磯部靖夫, 八木圭輔, 清和成, 惣田訓, 池道彦: 水生植物バイオマスからのバイオエタノール生産に関する研究, 第 43 回日本水環境学会年会講演集, 99, 2009.
  - 24) 前田光太郎, 中谷慎吾, 赤尾聡史, 増田貴則, 細井由彦: 水生植物およびクリーニングクロップの酵素糖化における前処理方法の検討, 第 62 回土木学会中国支部研究発表会発表概要集 CD-ROM, VII-7, 2010.
  - 25) Amer. Public Health Assn.: Standard methods for the examination of water and wastewater (21st ed.), 2005.
  - 26) 築城幹典, 原田端生: 我が国における家畜排泄物発生の実態と今後の課題, *環境保全と新しい畜産*, 農林水産技術情報協会, 15-29, 1997.

(2010.5.21受付)

## Phosphorus Extraction from Corn for Recovery and Recycle

Hideaki NAGARE<sup>1</sup>, Tsukasa INOUE<sup>2</sup>, Taku FUJIWARA<sup>3</sup>, Satoshi AKAO<sup>4</sup>, Morihiro MAEDA<sup>1</sup>  
and Shinzo YAMANE<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Graduate School of Environmental Science, Okayama University

<sup>2</sup> Graduate school of Engineering, Kitami Institute of Technology

<sup>3</sup> Agriculture unit, Research and Education Faculty, Kochi University

<sup>4</sup> Graduate School of Engineering, Tottori University

Salts and nutrients are accumulated in the field soil as the result of fertilization. In order to remove nutrients accumulated in soil we are considering a novel method, in which cleaning crop such as corn is cultivated during agricultural off-season. The crop assimilated nutrients in soil is harvested to be supplied as a carbon source of L-lactic acid fermentation, in which phosphorus is recovered for recycling. In this research, the method for phosphorus extraction from corn was examined. Ground corn was soaked in distilled water or 1% NaOH solution for 24 hours. More than 78% of phosphorus in corn leaked out to solution. Phosphorus budget in the pre-treatment step of L-lactic acid fermentation was determined. 84% of phosphorus was eluted to liquid. These results indicate phosphorus is easily extractable from corn for the recovery.