

成する病害として、病気の進展によって大豆葉の早期落葉を招来し、連作区と毎年輪換区の外観上 Biomass 程度に相当な差が現れた。ウイルスによる大豆モザイク病は例年に比べて軽微であったが、作付処理による大差はなかった。

表 8 作付処理別大豆病害発生程度(1991)

| 病 名   | 病 発 生 程 度 |       |
|-------|-----------|-------|
|       | 連 作 区     | 毎年輪換区 |
| 紫 斑 病 | 3.5%      | 1.2%  |
| 葉 焼 病 | 7.5       | 3.0   |
| 斑点細菌病 | 5.5       | 2.5   |
| モザイク病 | 2.8       | 3.0   |

春ジャガイモ-秋白菜二毛作の場合、ジャガイモは梅雨前に早く収穫されたから病気の発生は少なかった(表9)。ジャガイモの生育初期に輪紋病が軽く発生し、モザイク病も例年に比べて発生は非常に少なかった。収穫した塊茎の滄痂病発生程度も例年に比べて軽微であった。従って、作付処理による病発生の多少は認められなかった。

秋白菜には露菌病、黒斑病の発生が局部的に観察されたが、発生程度も0.01%以下で極めて少なく、作付処理別発生程度に著しい差は認められなかった。

表 9 作付処理別ジャガイモ病害発生状況(1991)

| 病 名   | 病 発 生 程 度 |        |
|-------|-----------|--------|
|       | 連 作 区     | 毎年輪換区  |
| 輪 紋 病 | 0.01 %    | 0.01 % |
| モザイク病 | <0.001    | <0.001 |
| 滄 痂 病 | 0.05      | 0.03   |

1992年度水稻病害の発生状況は、まず稲熱病の場合には葉いもちも首いもちも作付処理とは関係なく、発生がほとんどなく作付処理が稲熱病に及ぼす影響は調査できなかった(表10)。紋枯病の場合には例年の結果と似ている状況で、水稻連作区に比べて毎年輪換区での病発生が2倍以上高く、発病進展も早い傾向であった。毎年輪換区で紋枯病の発生が多かったのは、すでに指摘したように、毎年輪換区では可用態窒素成分が多かった原因があると考えられる。その

他水稻病害の発生は認められなかった。

大豆一毛作の場合には露菌病、葉焼病、モザイクウイルス病の発生が認められたが、葉焼病を除けば発生が軽微であって、作付処理間に差がなかった。しかし、葉焼病は2年輪換区に比べて、永久転換区で2倍以上の発生が現れ、永久転換区では発病葉率が5.5%に達した(表11)。永久転換区での葉焼病の発生が多かったのは、土壌伝染性病害の性質に照らして、永久転換区での病原菌の累積に起因するものと考えられる。

二毛作ジャガイモの場合には疫病、輪紋病、巻葉病が今までの主病害であったが、1992年度にはこれら病害の発生がないか、極めて軽微な発病が現れ、作付処理間に大差は認められなかった。

白菜の場合には露菌病、黒斑病の病斑が作付処理と無関係で少数発生であった。

表10 作付処理別水稻病害発生状況(1992)

| 作付処理  | 発生病害 |           |
|-------|------|-----------|
|       | 稲熱病  | 紋枯病(発病基率) |
| 水稻連作区 | 0%   | 8.5%      |
| 毎年輪換区 | 0    | 15.0      |

表11 作付処理別畑作物病害発生状況(1992)

| 作付処理  | 作物    |        |        |        |      |      |       |
|-------|-------|--------|--------|--------|------|------|-------|
|       | ジャガイモ |        | 白菜     |        | 大豆   |      |       |
|       | 疫病    | 輪紋病    | 露菌病    | 黒斑病    | 露菌病  | 葉焼病  | モザイク病 |
| 永久転換区 | 0     | <0.01% | <0.01% | <0.01% | 0%   | 5.5% | <0.1% |
| 2年輪換区 | 0     | <0.01  | <0.01  | <0.01  | <0.1 | 2.0  | <0.1  |

\*モザイク病：発病株率、その他：発病葉率

1993年度水稻病害の発生状況を見ると、まず稲熱病の場合には葉いもちと首いもちがほとんど発生しなかった(表12)。紋枯病の場合には例年より発生が多く23.4%の発病基率を示した。他の水稻病害の発生は認められなかった。

大豆一毛作の場合には露菌病、紫斑病、モザイクウイルス病の発生が認められたが、紫斑病を除けば、その発生は軽微であって作付処理間に差が認められなかった。しかし、紫斑病は永

久転換区で発生が多い傾向であった(表13)。永久転換区で紫斑病の発生が多かったのは、永久転換区での病原菌の累積に起因するものと考えられる。

二毛作ジャガイモの場合、疫病、輪紋病、モザイク病が今までの主病害であったが、今年度には輪紋病が主な病害であった。輪紋病は2%内外の発病葉率を示したが、永久転換区で発生が最も多く、2年輪換区では少発生であった。このように輪換区で病発生が少なかったのは、畑輪換によった輪紋病の第一次伝染源が効率的に減少されたことと推定される。白菜の場合には露菌病、黒斑病の病斑が作付処理とは関係なく少発生にとどまった。

表12 作付処理別水稻病害発生状況(1993)

| 作付処理  | 発 生 病 害 |       |
|-------|---------|-------|
|       | 稲 熱 病   | 紋 枯 病 |
| 水稻連作区 | <0.01%  | 23.4% |

\*葉いもち：病斑面積率%、枯病率：罹病莖率%

表13 作付処理別畑作物病害発生状況(1993)

| 作付処理  | 作 物   |      |        |        |        |      |       |
|-------|-------|------|--------|--------|--------|------|-------|
|       | ジャガイモ |      | 白 菜    |        | 大 豆    |      |       |
|       | 疫 病   | 輪紋病  | 露菌病    | 黒斑病    | 露菌病    | 紫斑病  | モザイク病 |
| 永久転換区 | 0     | 2.2% | <0.01% | <0.01% | <0.01% | 8.3% | <0.1% |
| 毎年輪換区 | 0     | 1.5  | <0.01  | <0.01  | <0.01  | 7.5  | <0.1  |
| 2年輪換区 | 0     | 0.7  | <0.01  | <0.01  | <0.01  | 7.1  | <0.1  |

\*モザイク病：発病株率%、その他：発病葉率%

#### (4) 摘 要

- 1) '89年処理間病害発生状況の調査結果、水稻では葉いもち、首いもち、紋枯病が少数発生し、ジャガイモでは巻葉病が甚だしく発生したが、大豆では黒点病と斑点細菌病の発生が観察された。
- 2) '90年には全作物に病害発生が多様化され、水稻の場合、合連作区より毎年輪換区で稲熱病、紋枯病の発生が著しく増加した。
- 3) ジャガイモでは昨年に比べて巻葉病の発生が少なかったが、疫病が甚だしく発生した。

- 4) 大豆はモザイク病と露菌病の発生が甚だしく、白菜では露菌病と黒斑病が少発生した。
- 5) 1991年度試験結果、水稻の場合、主要病の発生程度が極めて少なく、作付処理別病発生様相の著しい差異は認められなかった。
- 6) 大豆の場合、連作区では初期から病発生が甚だしく、輪換区に比べて生育後期まで紫斑病、葉焼病、斑点細菌病の発生が多く、これに従い葉の黄化及び早期落葉現象が連作区で顕著であった。
- 7) ジャガイモは梅雨前早期収穫によって、病の進展状況は調査できなかったが、作付処理とは関係なく例年に比べて病発生が少なかった。
- 8) 1992年水稻の場合、毎年輪換区が連作区より紋枯病の発生が甚だしかった。
- 9) 大豆の場合、連作区では2年輪換区に比べて葉焼病の発生が多かった。
- 10) 水稻の場合、毎年輪換区で紋枯病の発生が著しく多かったのは、毎年輪換区の窒素吸収量が高かったことと推定される。大豆の場合、永久転換区で葉焼病発生が甚だしかったのは、連作による圃場内病原菌の密度が増加された原因であると考えられる。
- 11) 1993年度試験結果、水稻の場合、紋枯病の発生が例年に比べて甚だしく発生した。
- 12) 大豆の場合、連作区では輪換区に比べて紫斑病の発生が多かった。
- 13) ジャガイモは輪紋病が主に発生したが、永久転換区で最も甚だしく毎年輪換区、2年輪換区の順位で発生が多かった。
- 14) 畑作物病害の場合、輪換区より永久転換区で病発生が多かったのは、田畑輪換によって病原菌の第一次伝染源が効率的に抑制されたことと推察される。

〈文献省略〉

### 3. 田畑輪換地の植物寄生線虫相と天敵微生物調査

遂行機関：農業技術研究所昆虫科

担当者：金知仁、韓相贊、崔東魯、金洪善

#### (1) 緒言

韓国の耕地面積は全国土面積の20.8%であるが、英国の76%、佛蘭西の58%と美国の44%と比べると半分以下である。食糧自給率の低下による増産の必要性が強く要求されるにもかかわらず、耕地利用率は1965年157.0%から漸次減少して、1970年代には130~140%であった。最近では106.1%で大きく減少した状態になった。全体耕地の63.5%を占める水田の場合、夏期には水稻生産に利用されるが、冬期には89%が遊休となる。そして効率的な活用方策を探して、水田の利用効率を以前と同じ水準に上げることができれば、食糧自給の向上と、農家所得増大に大きく寄与することができる。1960年代の水田の作付体系を見ると、南部地方は水稻+麦類が主流であった。しかし、1980年代からは麦類の栽培面積が急激に減少する代わりに、施設栽培(花卉、野菜)等の栽培面積が大きく増加した。例えば、水稻の前作としてイチゴ、スイカ、マクワウリ、ジャガイモ、野菜などの高所得作物等が広い面積に栽培されることになった。特に中北部地方で水田から畑に転換した土地の60%以上が施設野菜を栽培している。このような状況になって施設下で畑作物を長期間栽培することによって、連作障害が大きな問題になっている。また、この障害には植物寄生性線虫が主要な要因として報告されている。

日本の場合、一般的に水田から畑に転換した2~3年後畑作物に問題とされているネコブセンチュウとネグサレセンチュウなどが発生して大きな問題になっている実情である。しかし、韓国はまだ水田畑輪換による寄生性線虫の調査が行なわれていない。そして、水田から畑への輪換による植物寄生性線虫の発生状況、被害及び天敵微生物相に対して調査した。

#### (2) 材料及び方法

本試験の場所は京畿道安城郡宝蓋面の農家圃場で1989年から5年間実施した。供試土壌は石泉微砂質壤土であった。1989年以前には水稻を連作した圃場で周囲が全部水田である。1989年から水田から畑に輪換試験を遂行し、処理内容は表1のようである。区当面積は400m<sup>2</sup>とした。輪換区は2等分して、一方は春ジャガイモ+秋白菜(2毛作)、片方は大豆(1毛作)を栽培した。線虫の調査は作物栽培期間中試験区内の6~8か所で、地表面の土壌を取り除いた後、深さ5~15cm層の土壌を500mlずつ採取した。これを混合して調査試料に使用した。この中から300mlを取って、Baermann's funnel techniqueによって24時間静置して分離した。線虫をF:G(4:1)固定液で固定した後、50倍双眼顕微鏡下で属の分類同定と線虫密度の調査を行なった。害虫

の調査は発生時期に従って作物別に15株を肉眼で調査した。天敵微生物相の調査は有機物残渣法により、12~18meshふるいを使用して土壌中の有機物くずを取って、1.5% water agar 上に接種して、25℃恒温器に2~3日間培養し、形成された胞子で天敵微生物相を調査した。

表1 処理内容

| 輪換形態  | 試 験 年 次 |     |     |     |     | 作 付 体 系                              |
|-------|---------|-----|-----|-----|-----|--------------------------------------|
|       | '89     | '90 | '91 | '92 | '93 |                                      |
| 水稲連作  | ○       | ○   | ○   | ○   | ○   | ○：水田状態(水稲単作)<br>×：畑状態(大豆単作、ジャガイモ+白菜) |
| 毎年輪換  | ×       | ○   | ×   | ○   | ×   |                                      |
| 2年輪換  | ×       | ×   | ○   | ×   | ×   |                                      |
| 畑 転 換 | ×       | ×   | ×   | ×   | ×   |                                      |

(3) 試験結果及び考察

1) イネネモグリセンチュウの発生状況

輪換形態別イネネモグリセンチュウの発生を見ると(表2)、水稲連作区では'89年から5年間線虫の密度は大きな変化がなかった。毎年輪換区及び2年輪換区でも大きな差異は見られなかった。反面、畑転換区では2年目である'90年から多少低い密度に現れて5年目である'93年後半期(10月)には検出されなかった。これは水田から畑に転換した寄生植物である。イネがない状態でもイネネモグリセンチュウは5年間生存した。

表2 輪換形態別年次別イネネモグリセンチュウ(*Hirschmanniella imamuri*)発生状況

(頭/土壌300ml)

| 輪換形態  | 作 物      | 6 月 |     |     |     |     | 10 月 |     |     |     |     |
|-------|----------|-----|-----|-----|-----|-----|------|-----|-----|-----|-----|
|       |          | '89 | '90 | '91 | '92 | '93 | '89  | '90 | '91 | '92 | '93 |
| 水稲連作  | 水 稲      | 10  | 12  | 18  | 28  | 22  | 27   | 36  | 31  | 24  | 18  |
| 毎年輪換  | ジャガイモ+白菜 | 24  | 8   | 14  | 9   | 1   | 20   | 5   | 26  | 16  | —   |
| 毎年輪換  | 大 豆      | 10  | 9   | 7   | 7   | 6   | 10   | 4   | 2   | 32  | —   |
| 2年輪換  | ジャガイモ+白菜 | 11  | 4   | 1   | 20  | 5   | 14   | 2   | 9   | 6   | —   |
| 2年輪換  | 大 豆      | 12  | 1   | 2   | 10  | 20  | 2    | 2   | 2   | 8   | 25  |
| 畑 転 換 | ジャガイモ+白菜 | 17  | 4   | —   | 3   | —   | 7    | 5   | —   | 2   | —   |
| 畑 転 換 | 大 豆      | 9   | 1   | —   | 3   | 2   | 8    | 3   | 2   | 3   | —   |

## 2) イネシンガレセンチュウの発生状況

輪換形態別イネシンガレセンチュウの発生を見ると(表3)、水稻連作区、毎年輪換区及び2年輪換区で2年目から密度の減少が現れたが、5年目から'93年後半期(10月)には3個処理区共にイネシンガレセンチュウが検出されなかった。水田から畑に転換した処理区でも類似の傾向が現れた。このようなイネシンガレセンチュウの密度減少と未検出は、イネ種子の消毒時殺虫剤による殺虫効果だと思われる。

表3 輪換形態別年次別イネシンガレセンチュウ(*Aphelenchoides besseyi*)の発生状況

(頭/土壌300ml)

| 輪換形態  | 作物       | 6月  |     |     |     |     | 10月 |     |     |     |     |
|-------|----------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
|       |          | '89 | '90 | '91 | '92 | '93 | '89 | '90 | '91 | '92 | '93 |
| 水稻連作  | 水 稻      | 35  | 4   | 2   | 1   | —   | 22  | 3   | —   | 4   | —   |
| 毎年輪換  | ジャガイモ+白菜 | 6   | —   | —   | —   | —   | 16  | 2   | —   | 2   | —   |
| 毎年輪換  | 大 豆      | 16  | —   | —   | 4   | —   | 23  | 7   | —   | 1   | —   |
| 2年輪換  | ジャガイモ+白菜 | 6   | 2   | —   | —   | —   | 9   | 3   | —   | —   | —   |
| 2年輪換  | 大 豆      | 6   | —   | —   | —   | —   | 6   | 2   | —   | 1   | —   |
| 畑 転 換 | ジャガイモ+白菜 | 11  | —   | —   | 8   | —   | 27  | 2   | —   | —   | —   |
| 畑 転 換 | 大 豆      | 8   | —   | —   | 6   | —   | 11  | —   | —   | —   | —   |

## 3) 線虫の発生状況

輪換形態による線虫の発生を見ると(表4)、寄生性線虫は Tylenchida 目の *Aphelenchus* 属、*Aphelenchoididae* 科、*Tylenchidae* 科等の寄生性線虫が水稻連作区、毎年輪換区、2年輪換区及び畑転換区で少数が検出された。*Helicotylenchus* 属の線虫は、2年輪換区で3頭検出された。Tylenchida 目以外の線虫は *Rhabditida* 目、*Monhysterida* 目、*Araeolaimida* 目及び *Dorylaimida* 目の線虫が水稻単作及び全処理区で検出された。*Mononchida* 目は特に2年輪換区で少数検出された。その中 *Rhabditida* 目の非寄生性線虫の密度が345~1,491頭で高い密度を示した。このような非寄生性線虫の密度増加は水田を畑状態に転換時、非寄生性線虫の増殖に良好な環境になるため、その密度が増加したと思われる。

表4 輪換形態別寄生性線虫の発生状況(1991)

(頭/土壌300ml)

| 区 分                  | 水稲単作  | 毎年輪換         |     | 2年輪換         |       | 田 転 換        |         |
|----------------------|-------|--------------|-----|--------------|-------|--------------|---------|
|                      | 水 稲   | ジャガイモ<br>+白菜 | 大 豆 | ジャガイモ<br>+白菜 | 大 豆   | ジャガイモ<br>+白菜 | 大 豆     |
| Aphelenchus 属        | —     | 4            | —   | 39           | 3     | —            | —       |
| Aphelenchoididae 科   | 2     | 22           | 13  | 24           | 41    | 1            | 1       |
| Tylenchida 科         | 4     | 23           | 3   | 16           | 14    | 1            | 1       |
| Hirschmanniella 属(注) | 12(1) | 9            | 11  | 2            | 3     | 8(1)         | 28(8)   |
| Helicotylenchus 属    | —     | —            | —   | —            | 3     | —            | —       |
| Tylenchida 目 小計      | 18(1) | 58           | 27  | 81           | 64    | 10(1)        | 30(8)   |
| Rhabditida 目(注)      | 36(3) | 231          | 614 | 345          | 1,491 | 130(1)       | 130(2)  |
| Monhysterida 目       | 1     | 33           | 19  | 9            | 40    | 4            | 12      |
| Araeolaimida 目       | 1     | 1            | —   | 1            | 3     | —            | 1       |
| Dorylaimida 目        | 3     | 27           | 3   | 19           | 18    | 7            | 3       |
| Mononchida 目         | —     | —            | —   | 4            | 1     | —            | —       |
| Tylenchida 目除外小計     | 41(3) | 292          | 636 | 378          | 1,553 | 141(3)       | 146(2)  |
| 合 計                  | 59(4) | 350          | 663 | 459          | 1,617 | 151(2)       | 176(10) |

(注)：根から検出された線虫の個体数

## 4) 非寄生性線虫の発生状況

輪換形態別非寄生性線虫の発生を見ると(表5)、時期的には作物の生育中期である6月に比べて、生育後期の10月に非寄生性線虫の密度はとて高く現れた。年次別に水稲連作区を除外して、一般的に3年目の'91年から増加を始め、漸次的に増加する傾向であった。特に、畑転換区の大豆栽培区の1,827~3,713頭。輪換区の大豆栽培区2,120~5,150頭で水稲連作区の440頭に比べてたいへん高い密度で増加した。水田から畑状態に転換して5年間畑作物を栽培することによって、主に畑作物で問題になる植物寄生性線虫(ネコブセンチュウ、ネグサレセンチュウなど)の出現を予想したが全く検出されなかった。これは日本の場合、水田から畑に転換時、畑に侵入した植物寄生性線虫は当年の線虫密度は低く、2年目には密度が高くなる。一般的に3年目には畑作物で問題視されている植物寄生性線虫(ネコブセンチュウ、ネグサレセンチュウなど)の出現が、本調査ではこれとは相異なる結果を得た。これは圃場状態が畑作物に寄生する線虫の発生に不適当な条件であったため、有害線虫が発生しなかったと思わ



れる。

表5 輪換形態別年次別寄生性線虫の発生状況(1991)

(頭/土壌300ml)

| 輪換形態  | 作物       | 6月  |     |     | 10月   |       |       |
|-------|----------|-----|-----|-----|-------|-------|-------|
|       |          | '91 | '92 | '93 | '91   | '92   | '93   |
| 水稲連作  | 水 稲      | 26  | 64  | 61  | 36    | 24    | 440   |
| 毎年輪換  | ジャガイモ+白菜 | 126 | 264 | 191 | 231   | 46    | 1,430 |
| 毎年輪換  | 大 豆      | 148 | 218 | 251 | 614   | 72    | 5,150 |
| 2年輪換  | ジャガイモ+白菜 | 76  | 296 | 228 | 52    | 227   | 570   |
| 2年輪換  | 大 豆      | 105 | 146 | 90  | 114   | 325   | 2,120 |
| 畑 転 換 | ジャガイモ+白菜 | 215 | 557 | 123 | 345   | 1,020 | 1,827 |
| 畑 転 換 | 大 豆      | 418 | 343 | 247 | 1,391 | 1,509 | 3,713 |

5) 害虫の発生状況

① 害虫の発生状況(1990)

害虫の発生状況を見ると(表6)、毎年輪換、2年輪換及び畑転換区の大豆栽培区でマメヒメサマムシガの幼虫が5株当1株の比率で発生した。また、ウチタコガネの成虫が発生して、下位葉の被害が現れた。そのほかテンサイメイガなどが発生したが、輪換形態別害虫の発生及び被害は差がなかった。

表6 輪換形態別害虫の発生状況(1990)

| 作物  | 害虫        | 発 生 態 | 発 生 程 度 |
|-----|-----------|-------|---------|
| 大 豆 | テンサイメイガ   | 幼 虫   | 20株当1株  |
|     | マメヒメサマムシガ | 〃     | 5株当1株   |
|     | マメノメイガ    | 〃     | 30株当1株  |
|     | モンキチョウ    | 〃     | 50株当1株  |
|     | ウチタコガネ    | 成 虫   | 下 位 葉   |
|     | ラロバハムシ    | 〃     | 被 害 若 干 |

② 害虫の発生状況(1991)

害虫の発生状況を見ると(表7)、毎年輪換区の大豆栽培区で、オメバツタの成虫が発生して加害した。畑転換区の大豆栽培区では、オメバツタの若虫及び成虫が発生して被害が現れた。毎年輪換区と畑転換区の害虫の発生は差異が見られなかった。

表7 輪換形態別害虫の発現現況(1991)

| 輪換形態 | 作物       | 害虫    | 発生態  | 被害株率(%) |
|------|----------|-------|------|---------|
| 水稻連作 | 水稻       | —     | —    | —       |
| 毎年輪換 | ジャガイモ+白菜 | —     | —    | —       |
| 毎年輪換 | 大豆       | オメバツタ | 成虫   | 50      |
| 2年輪換 | 水稻       | —     | —    | —       |
| 2年輪換 | 水稻       | —     | —    | —       |
| 畑転換  | ジャガイモ+白菜 | —     | —    | —       |
| 畑転換  | 大豆       | オメバツタ | 若、成虫 | 50      |

③ 害虫の発生状況(1992)

害虫の発生状況を見ると(表8)、2年輪換区のジャガイモ栽培区及び畑転換区ジャガイモ栽培区でジャガイモヒゲナガアブラムシ、チュウリップヒゲナガアブラムシが発生したが、発生程度は畑転換区で多少高い密度が現れた。また、2年輪換区及び畑転換区の大豆栽培区ではアザミウマとハダニが現れた。畑転換区の大豆栽培区ではアザミウマとモンキゾが発生したが、輪換形態別害虫の発生は大きな差異がなかった。これは圃場周囲環境が害虫発生の要因となる寄主植物の不足と栽培区の面積の狭小が原因ではないかと思う。

表8 輪換形態別害虫発生状況(1992)

(頭/15株)

| 輪換形態 | 作物       | ジャガイモヒゲナガアブラムシ | チュウリップヒゲナガアブラムシ | モモアガアブラムシ | アザミウマ | モンキゾ | ハダニ |
|------|----------|----------------|-----------------|-----------|-------|------|-----|
| 水稻連作 | 水稻       | —              | 1               | —         | —     | —    | —   |
| 毎年輪換 | 水稻       | —              | —               | —         | —     | —    | —   |
| 毎年輪換 | 水稻       | —              | —               | —         | —     | —    | —   |
| 2年輪換 | ジャガイモ+白菜 | 12             | 2               | —         | —     | —    | —   |
| 2年輪換 | 大豆       | —              | —               | 2         | 30    | —    | 1   |
| 畑転換  | ジャガイモ+白菜 | 69             | 35              | —         | —     | —    | —   |
| 畑転換  | 大豆       | 2              | —               | —         | 14    | 1    | —   |

④ 害虫の発生状況(1993)

害虫の発生を輪換形態別に見ると(表9)、毎年輪換区、2年輪換区及び畑転換区のジャガイモ栽培区でアブラムシが発生した。特に、毎年輪換区でアブラムシの密度が高い傾向であった。また、毎年輪換区、2年輪換区及び畑転換区の大豆栽培区でマメノメイガ、チ

ユウリップヒゲナガアブラムシが発生したが、被害と株当密度は高くなかった。

表9 輪換形態別害虫の発生状況(1993)

| 輪換形態  | 作物       | アブラムシa) | マメノメイガ |      | チュウリップヒゲナガアブラムシ |      | コブノメイガ  |        |
|-------|----------|---------|--------|------|-----------------|------|---------|--------|
|       |          |         | 被害葉数b) | 葉当密度 | 被害葉数c)          | 葉当密度 | 被害株率(%) | 被害葉数d) |
| 水稻連作  | 水 稻      | —       | —      | —    | —               | —    | 1.0     | 1.7    |
| 毎年輪換  | ジャガイモ+白菜 | 164.0   | —      | —    | —               | —    | —       | —      |
| 毎年輪換  | 大 豆      | 0.8     | 3.3    | 0.3  | 6.0             | 7.3  | —       | —      |
| 2年輪換  | ジャガイモ+白菜 | 28.0    | —      | —    | —               | —    | —       | —      |
| 2年輪換  | 大 豆      | 1.3     | 2.0    | 0.7  | 5.0             | 8.3  | —       | —      |
| 畑 転 換 | ジャガイモ+白菜 | 14.0    | —      | —    | —               | —    | —       | —      |
| 畑 転 換 | 大 豆      | 0.8     | 2.7    | 1.3  | 6.3             | 3.0  | —       | —      |

a) : 6月10日調査 (頭/株当)

b) : 8月12日調査 (被害葉数/株当)

c) : " (被害葉数/10株当)

d) : " (被害葉数/株当)

#### 6) 輪換形態別天敵の発生状況

輪換形態別天敵の発生を見ると(表10)、水稻単作区、毎年輪換区、2年輪換区及び畑転換区共にクモ類、ヒメハナカメムシ、クサガケルなど少数発生した。このような天敵の低密度は一般害虫の密度が低かったのが原因であると思う。

表10 輪換形態別天敵の発生状況 (1992)

(頭/15株)

| 輪換形態  | 作物       | クモ類 | ヒメハナカメムシ | クサガケル | カメムシ類 | 飽食ダニ |
|-------|----------|-----|----------|-------|-------|------|
| 水稻連作  | 水 稻      | 4   | —        | —     | 1     | —    |
| 毎年輪換  | ジャガイモ+白菜 | 6   | —        | —     | —     | —    |
| 毎年輪換  | 大 豆      | 4   | —        | —     | —     | —    |
| 2年輪換  | ジャガイモ+白菜 | 2   | 1        | —     | —     | 1    |
| 2年輪換  | 大 豆      | —   | 1        | —     | —     | —    |
| 畑 転 換 | ジャガイモ+白菜 | 3   | 7        | 1     | —     | 1    |
| 畑 転 換 | 大 豆      | 2   | —        | —     | —     | —    |

\*天敵微生物発生状況：線虫の寄生菌は Mucor sp.のみが検出された

#### (4) 摘 要

- 1) イネネモグリセンチュウは畑転換年度数によって密度が減少する傾向であった。
  - 2) イネシンガレセンチュウは年次的に密度が減少したが、5年目では全処理区で検出されなかった。
  - 3) 非寄生性線虫は毎年輪換区、2年輪換区及び畑転換区で3年目から非寄生性線虫の密度の増加を始め、5年目である'93年には土壌300ml当2,120~5,150頭で高い密度の増加を示した。
  - 4) 畑転換試験3年目から非寄生性線虫の密度が高く増加したが、一般畑作物に問題視されている植物寄生性線虫(ネコブセンチュウ、ネグサレセンチュウなど)は検出されなかった。
  - 5) 害虫の発生は輪換区及び畑転換区のジャガイモ圃場でジャガイモヒゲナガアブラムシ、チュウリップヒゲナガアブラムシ、モモアガアブラムシなどが発生した。大豆栽培区ではマメノイガ、チュウリップヒゲナガアブラムシなどが発生した。
  - 6) 害虫の天敵類はクモ類、ヒメハナカメムシ、クサガケル、飽食ハダニなどが発生したが、害虫密度が低い関係で天敵密度も低かった。
  - 7) 線虫の寄生菌は *Mucor* sp.のみ検出された。
- \* 本試験圃場は周囲が広い水田に取り囲まれた極めて一部地域であるため、圃場状態が畑作物に有害な寄生性線虫の発生には適しない条件であった。

〈文献省略〉

## V. 連作による土壤環境変化究明と対応技術の確立

### 1. 輪作栽培地の土壤腐生菌の消長と制御方法の研究

遂行機関：農業技術研究所

担当者：權章軾、金承煥、李相奎

#### (1) 緒言

土壤の生態系の中で、土壤微生物は有機物及び無機物を他の形態の有機物と無機物に変化させる作用など、土壤中の養分の変化と密接な関係を持つ。その中で硝酸化作用、脱窒作用と硫黄、鉄、Mn等の酸化還元は土壤の生物と化学的作用において相当に重要で、その反応は土壤微生物中の特殊技能を持っている微生物が担当している。

田畑の土壤の微生物相は作物の種類、栽培環境、土壤の水分含量等色々な土壤環境の条件によって大きく影響を受け、篠田は作付体系と土壤の微生物との関係で作付体系による微生物相の差が生じる原因が、各作物による根の分布状況、根圏微生物の種類及び栽培法、土壤中の有機物の量及び質の差にあると推論し、土壤中の微生物の数の変化の中で細菌は全窒素、全炭素の含有量が高い時、糸状菌数は全窒素が高くてC/Nが低い土壤で、放線菌数は大体全炭素が多い土壤で増大した。

植物は根圏土壤及び根の表面に棲息する微生物によって栄養分の吸収能力に変化を及ぼす時もあるし、作物と微生物の相互間にも各種有用な微生物の中に窒素固定細菌とか、Mycorrhizaeのような微生物によって窒素とリン酸等の養分吸収を増大させ、作物生育を助ける有用な微生物がある反面、腐生能力を持っている土壤伝染性病原菌たちも寄株植物が分泌する物質によって刺激を受け、活性化、増殖、発病して作物生育を阻害する有害な微生物もある。

それ故に、腐生性及び病原性の微生物の密度を低くして、作物の優良な形質を十分に発揮させるため、物質循環機能の適正な管理が必要で、土壤微生物の生態的活性の条件の管理が重要だ。

一方、土壤養分の循環において重要な生化学反応をする土壤酵素は、土壤の有機養分を無機化する時作用し、土壤の中で植物の養分供給に重要な役割をしている。植物と微生物の活動は土壤の酵素量に影響して土壤の中の有機養分の無機化の速度に関与する。土壤の有機物の施用によって基質量が増加され酵素活性が高くなるし、或いは土壤の酵素の活性と作物の収量、品質と関連性があると指摘されている。近来には微生物体自体が農業生産に及ぼす影響に対する多数の研究が遂行されているし、生物学的な土壤環境の改善で農業の生産性を増大させる方法

を追究している。

これに関連して本試験は相異なる輪換の形態及び作付の体系による微生物相の変化と、腐生性及び病原性の消長、それから土壤の酵素の活性等を調査して合理的な輪作の体系の確立の基礎資料を提供するため試験の結果を報告する。

## (2) 材料及び方法

### 1) 供試土壤の理化学成分

| pH<br>(1:5) | MO<br>(%) | Av. P <sub>2</sub> O <sub>5</sub><br>(ppm) | Exch. me/100g |     |     | CEC<br>(me/100g) |
|-------------|-----------|--|---------------|-----|-----|------------------|
|             |           |  | K             | Ca  | Mg  |                  |
| 5.2         | 2.2       | 71   | 0.35          | 4.3 | 0.8 | 9.4              |

### 2) 供試作物及び処理内容

| 輪換形態  | 1989 | 1990 | 1991 | 1992 | 1993 | 備 考                                  |
|-------|------|------|------|------|------|--------------------------------------|
| 水稻連作  | ○    | ○    | ○    | ○    | ○    | ○：田状態(水稻)<br>×：畑状態(豆単作、<br>ジャガイモ-白菜) |
| 毎年輪換  | ×    | ○    | ×    | ○    | ×    |                                      |
| 2年輪換  | ×    | ×    | ○    | ×    | ×    |                                      |
| 畑 輪 換 | ×    | ×    | ×    | ×    | ×    |                                      |

### 3) 土壤試料の採取

微生物の調査及び化学成分の分析用土壤試料の採取は、表土10cm内の土壤を区当たり20個地点でPolyethylene film封筒に採取してよく混合した後、4℃の冷蔵庫に保管して必要によって使用し、その残りは風乾後2mmのふるいで通過させて化学成分の分析用試料で使用した。

### 4) 土壤微生物の計数

希釈平板法によって細菌、放線菌はEgg-albumin寒天培地で、糸状菌はRose-bengal寒天培地を使用して計数した。窒素循環に関与する微生物の中でアンモニア酸化細菌、亜硝酸の酸化細菌、脱窒菌は各々特定の技能培地に土壤希釈の懸濁液を接種して培養した後、試薬を使用して発色の反応によるMPN方法で計数した。

### 5) 土壤理化学性及び土壤酵素の分析

土壤理化学性及び土壤酵素の分析は農村振興庁の農業技術研究所で発行した土壤化学分析

法によって実施した。pHは硝子電極法で、有機物はTyurin法、NO<sub>3</sub>-NはKjeldahl蒸溜法で、有効リン酸はLancaster法で比色測定し、陽イオンは1N-Ammonium Acetateで浸出してICPで分析した。土壌酵素の活性の測定中リン酸の加水分解の酵素はPhosphomonoesterase活性定量過程によってp-nitrophenolの生成量を、尿の酵素は生成されたアンモニア量を、脱水素の酵素はTPF生成量を定量して測定した。

#### 6) 微生物の分類及び同定

栄養の要求性による根圏微生物の分類はLochhead等の方法によって調査し、糸状菌の同定は希釈平板法から表出された糸状菌を純粋分離して、ジャガイモの培地を使用してhanging drop方法によって顕微鏡で形態を観察して属間の分類を実施した。

土壌の病原性の微生物の密度調査はKado、Komadas等の方法で希釈懸濁液を培地の上に塗抹して同定計数し、その中でPythium菌はVP<sub>3</sub>培地を使用した。

### (3) 試験の結果及び考察

#### 1) 輪作栽培地の土壌の化学性と微生物相の変化

輪作栽培地の土壌の化学性変化は輪換の形態及び作付の体系によって相異した(表1)。

作物の栽培中窒素、リン酸、加里含量は輪換の形態別で畑転換区>2年輪換区>毎年輪換区>水稲連作区の順に水稲、豆の栽培区よりジャガイモ-白菜栽培区で成分含量が多く(図1)、CaとMgは豆の栽培区で増加した。有機物の含量は水稲連作とか毎年輪換区に比べて、2年輪換と畑転換区が減少する傾向で、ジャガイモ-白菜の栽培区より豆の栽培区で多く減少した。

上のように田畑輪換及び作付の形態別相異なる成分含量の差は栽培作物の年中1-2作期の作付の体系と施肥量の差が一番大きく影響を及ぼすと思われ、生産された副産物の還元も成分の含量に変化を及ぼす要因だと思われる。

微生物の数に影響を及ぼす土壌化学の成分との関係で、試験4年次の'92年度の田畑輪作の栽培地では窒素、リン酸、加里の含量が多いほど細菌、放線菌、糸状菌数が増加する傾向を見せ(表1、表2)、硝酸態窒素と亜硝酸酸化の細菌数、それから有効リン酸の含量と糸状菌数とは有意な相関関係を見せた(図2)。輪換の形態別微生物の数は畑転換区>2年輪換区>毎年輪換区>水稲連作区の順で豆の栽培区よりジャガイモの栽培区で菌数が多く、土壌の中の窒素、リン酸、加里の含量と比例した。

窒素酸化の微生物の数も上のような傾向で土壌の中の窒素の含量と比例し、その中で脱窒菌とアンモニア酸化の細菌の数はジャガイモ-白菜栽培区で、亜硝酸の酸化の細菌の数は豆の栽培区で多い菌数を見せた(図3)。

表1 輪作栽培地土壌化学性変化('89/'92年度)

| 区 分              |                  | pH<br>(1:5) | OM<br>(%) | NO <sub>3</sub> -N<br>(ppm) | Av. P <sub>2</sub> O <sub>5</sub><br>(ppm) | Exch. me/100g |      |     | Ca+Mg/<br>K率 |      |
|------------------|------------------|-------------|-----------|-----------------------------|--|---------------|------|-----|--------------|------|
|                  |                  |             |           |                             |  | K             | Ca   | Mg  |              |      |
| 試験前土壌            |                  | 5.2         | 2.1       | —                           | 71   | 0.35          | 4.3  | 0.8 | —            |      |
| 水稲連作             |                  | '89試験後      | 5.5       | 2.1                         | —  | 61            | 0.23 | 3.4 | 0.8          | —    |
|                  |                  | '92栽培中*     | 5.5       | 2.1                         | 35   | 66            | 0.23 | 4.4 | 1.0          | 23.5 |
|                  |                  | '92栽培後      | 5.5       | 2.2                         | 37   | 62            | 0.22 | 3.6 | 0.8          | —    |
| 毎年<br>輪換         | 豆                | '89試験後      | 5.2       | 2.0                         | —  | 50            | 0.21 | 5.7 | 1.3          | —    |
|                  |                  | '92栽培中*     | 5.8       | 2.1                         | 51   | 58            | 0.16 | 6.3 | 1.3          | 47.5 |
|                  |                  | '92試験後      | 5.9       | 2.1                         | 44   | 52            | 0.18 | 5.1 | 1.1          | —    |
|                  | ジャガイモ<br>+<br>白菜 | '89試験後      | 5.1       | 2.2                         | —  | 66            | 0.25 | 4.3 | 0.9          | —    |
|                  |                  | '92栽培中*     | 5.5       | 2.1                         | 59   | 82            | 0.24 | 4.7 | 1.0          | 23.8 |
|                  |                  | '92試験後      | 5.6       | 2.1                         | 49   | 71            | 0.20 | 4.4 | 0.9          | —    |
| 2<br>年<br>輪換     | 豆                | '89試験後      | 5.8       | 1.7                         | —  | 57            | 0.20 | 6.8 | 1.6          | —    |
|                  |                  | '92栽培中*     | 6.2       | 1.9                         | 79   | 72            | 0.26 | 8.3 | 2.0          | 39.6 |
|                  |                  | '92試験後      | 6.0       | 1.8                         | 50   | 54            | 0.17 | 7.2 | 1.6          | —    |
|                  | ジャガイモ<br>+<br>白菜 | '89試験後      | 5.6       | 2.2                         | —  | 65            | 0.26 | 5.6 | 1.4          | —    |
|                  |                  | '92栽培中*     | 5.7       | 2.2                         | 68   | 91            | 0.46 | 6.9 | 1.7          | 18.7 |
|                  |                  | '92試験後      | 5.8       | 2.0                         | 51   | 78            | 0.42 | 6.4 | 1.4          | —    |
| 畑<br>転<br>換      | 豆                | '89試験後      | 5.7       | 1.7                         | —  | 73            | 0.20 | 6.5 | 1.7          | —    |
|                  |                  | '92栽培中*     | 6.3       | 1.9                         | 85   | 74            | 0.27 | 8.3 | 2.0          | 38.1 |
|                  |                  | '92試験後      | 6.2       | 1.9                         | 56   | 65            | 0.18 | 7.7 | 1.7          | —    |
|                  | ジャガイモ<br>+<br>白菜 | '89試験後      | 5.9       | 1.8                         | —  | 59            | 0.25 | 6.4 | 1.6          | —    |
|                  |                  | '92栽培中*     | 5.3       | 2.0                         | 86   | 104           | 0.38 | 7.2 | 1.8          | 23.7 |
|                  |                  | '92試験後      | 5.9       | 2.0                         | 61   | 98            | 0.31 | 6.8 | 1.6          | —    |
| 休 閑 区<br>(除 草 区) |                  | '89試験後      | —         | —                           | —  | —             | —    | —   | —            |      |
|                  |                  | '92栽培中*     | 5.3       | 1.7                         | 53   | 50            | 0.31 | 6.0 | 1.6          | 24.5 |
|                  |                  | '92試験後      | 5.3       | 1.7                         | 42   | 48            | 0.26 | 5.8 | 1.4          | —    |

\*調査時期：5月、6月、8月、9月(4回平均)



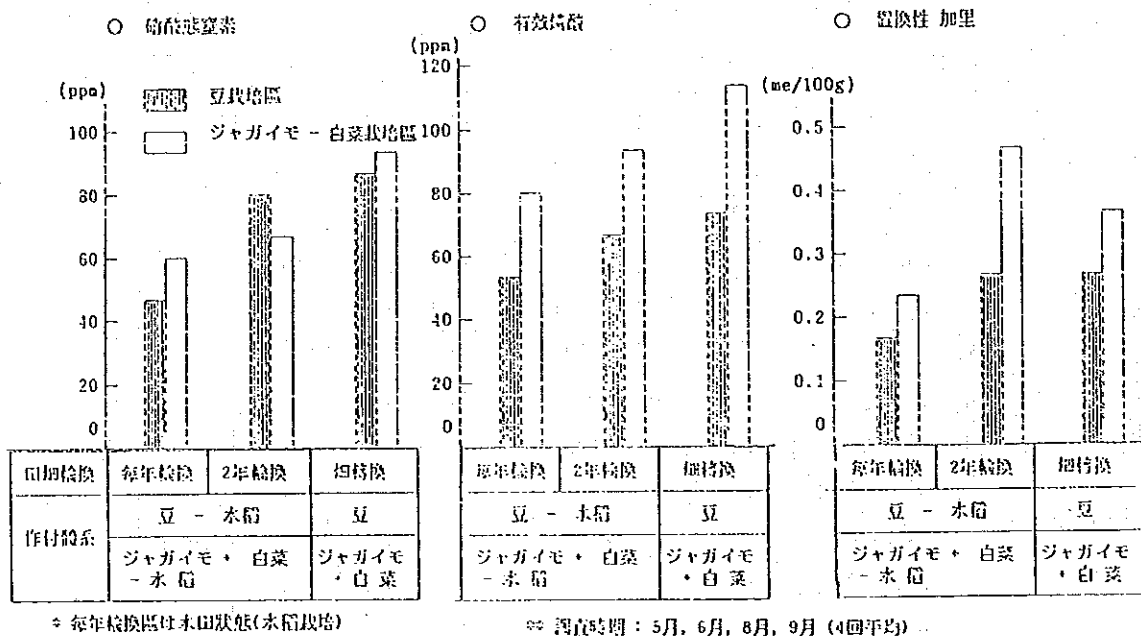


図1 田畑輪換形態及び作付体系別土壌中窒素、燐酸、加里含量(4年次: '92年)

表2 輪作栽培地土壌微生物の年次間変化('89/'92年)

| 輪換形態  | 作付体系        | 細菌( $\times 10^6$ ) |      | 放線菌( $\times 10^5$ ) |      | 糸状菌( $10^3$ ) |       |
|-------|-------------|---------------------|------|----------------------|------|---------------|-------|
|       |             | '89                 | '92  | '89                  | '92  | '89           | '92   |
| 水稲連作区 | 水稲連作        | 11.0                | 28.5 | 19.7                 | 10.7 | 46            | 13.5  |
| 毎年輪換区 | 豆-水稲        | 23.5                | 51.3 | 75.3                 | 38.5 | 108           | 68.0  |
|       | ジャガイモ+白菜-水稲 | 9.5                 | 51.0 | 34.0                 | 45.0 | 236           | 110.0 |
| 2年輪換区 | 豆-水稲        | 23.5                | 59.3 | 75.3                 | 61.3 | 108           | 72.5  |
|       | ジャガイモ+白菜-水稲 | 9.5                 | 70.0 | 34.0                 | 68.3 | 236           | 198.5 |
| 畑輪換区  | 豆           | 23.5                | 65.0 | 75.3                 | 75.7 | 108           | 83.0  |
|       | ジャガイモ+白菜    | 9.5                 | 81.3 | 34.0                 | 84.0 | 236           | 251.2 |
| 休閑区   | —           | 10.2                | 31.7 | 33.3                 | 51.7 | 114           | 81.2  |

\* 調査時期：5月、6月、8月、9月(4回平均)

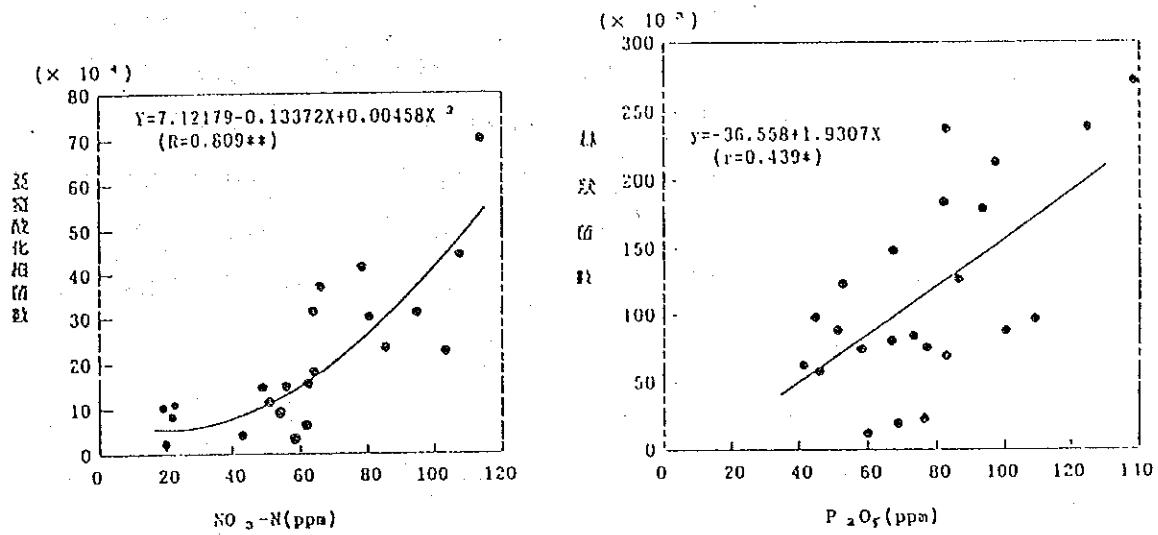
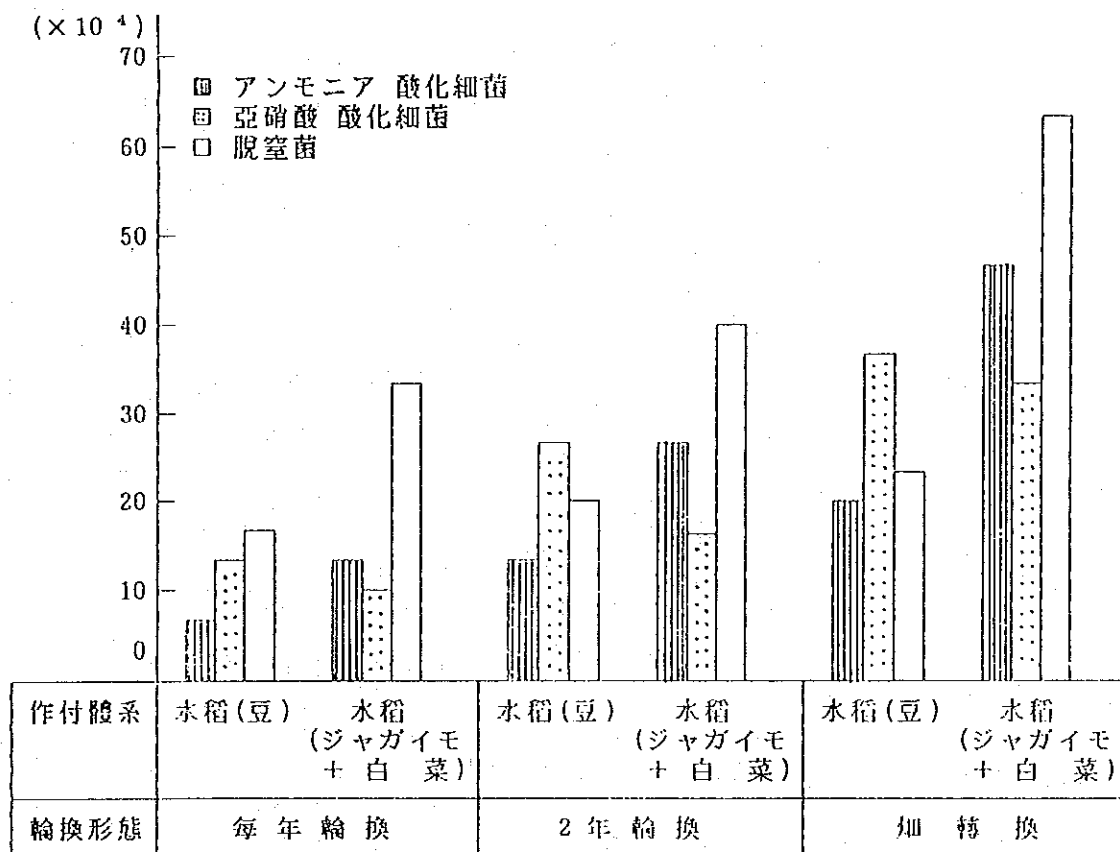


図2 土壤養分含量と微生物数との関係



( )は前年度栽培作物  
\* 調査時期：5月，6月，8月，9月（4回平均）

図3 輪換形態及び作付体系別窒素酸化細菌数(4年次)

それから、土壌中の養分の含量の比率と細菌及び糸状菌の数との関係から Ca+Mg/K の比率と細菌の数とは正の相関関係を、糸状菌数とは反対で負の相関関係を見せた(図4)。

以上のように土壌の微生物の数の変化は土壌化学の成分間の差と有意な関係を見せ、その中で窒素とリン酸、加里が微生物の数の増加に一番大きく作用した。これは土壌の成分の中で窒素、リン酸、加里、Ca、Mg等の無機養分は他の元素とともに微生物体の構成と密接な関係があるし、Eiland (8)の土壌中の微生物の数と種類は無機成分の量と種類によって影響を及ぼすという報告と一致した。

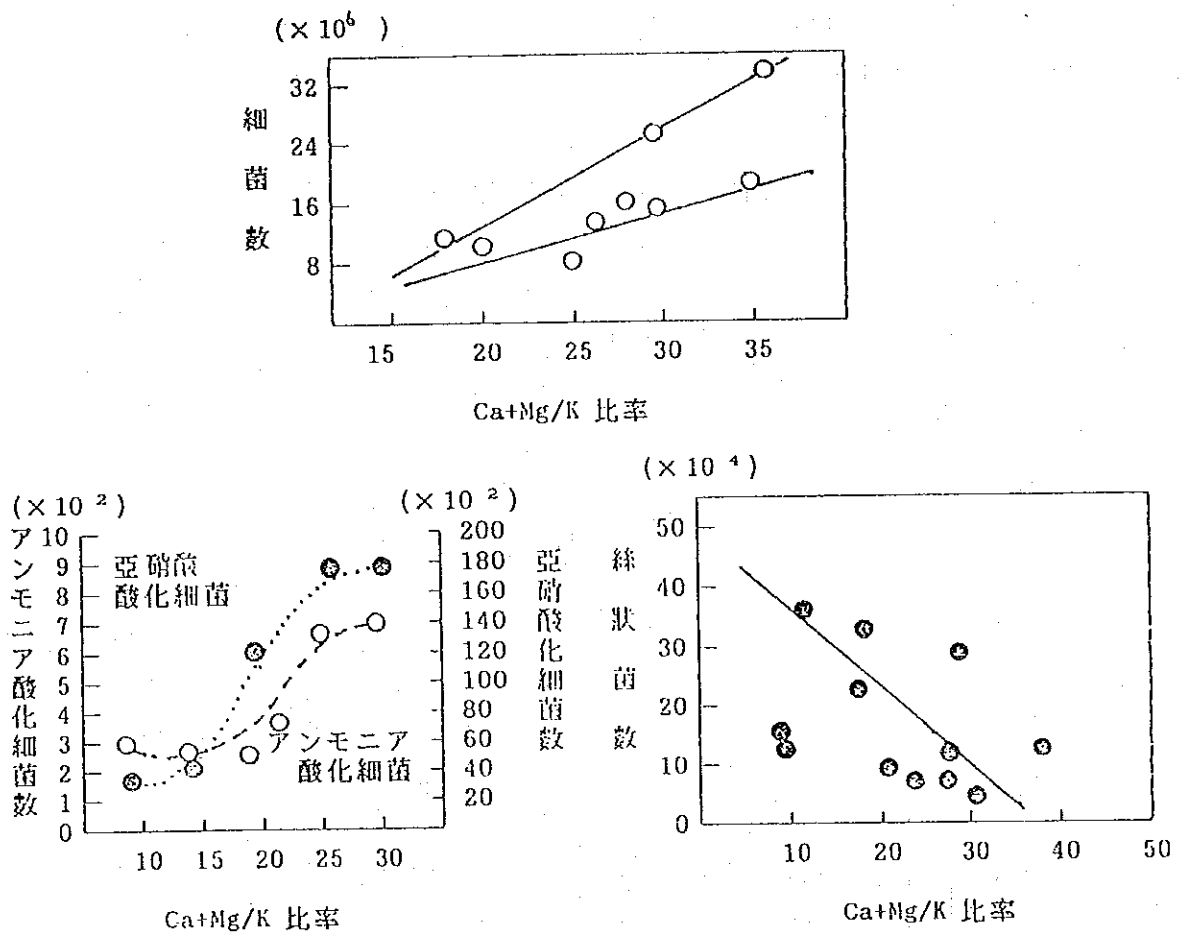


図4 土壌中 Ca+Mg/比率と細菌及び糸状菌数との関係

## 2) 輪作栽培地の糸状菌の分布の変化

'89年-'93年まで輪作の栽培地の根圏土壌で分離した主要な糸状菌の種類は約19属で分類同定され、年次間主要な優占の糸状菌の変化を検討した結果、試験1年次の'89年度には

Aspergillus 属、Penicillium 属、Fusarium 属、Gliocladium 属、'92年度には Aspergillus 属、Penicillium 属、Rhizopus 属、Gliocladium 属、'93年度には Penicillium 属、Trichoderma 属、Aspergillus 属が一番多い分布を見せた(表3)。

表3 田畑輪換及び作付体系別優占糸状菌の年次間変化

| 田畑輪換及び作付体系                 |                        | 糸状菌属                        | 分布比率 (%)              |        |      |
|----------------------------|------------------------|-----------------------------|-----------------------|--------|------|
|                            |                        |                             | '89                   | '92    | '93  |
| 毎年輪換区                      | 豆-水稻                   | <u>Aspergillus sp.</u>      | 21.2                  | 47.1   | —    |
|                            |                        | <u>Fusarium sp.</u>         | 35.7                  | 5.9    | —    |
| <u>Penicillium sp.</u>     |                        | 14.3                        | 29.4                  | 12.2   |      |
| <u>Rhizopus sp.</u>        |                        | —                           | 17.6                  | —      |      |
| <u>Trichoderma sp.</u>     |                        | —                           | —                     | 4.9    |      |
| Unidentified (Ascomycetes) |                        |                             |                       | (75.6) |      |
| Others                     |                        | 28.8                        | —                     | 7.3    |      |
| 毎年輪換区                      | ジャガイモ<br>+<br>白菜-水稻    | <u>Aspergillus sp.</u>      | 32.0                  | 22.9   | —    |
|                            |                        | <u>Fusarium sp.</u>         | 22.0                  | —      | —    |
|                            |                        | <u>Gliocladium sp.</u>      | 12.0                  | —      | —    |
|                            |                        | <u>Helminthosporium sp.</u> | —                     | 13.6   | —    |
|                            |                        | <u>Penicillium sp.</u>      | 14.0                  | 18.1   | 96.0 |
|                            |                        | <u>Trichoderma sp.</u>      | —                     | —      | 4.0  |
|                            |                        | <u>Sclerotinia sp.</u>      | —                     | 40.9   | —    |
|                            |                        | Others                      | 20.0                  | 4.5    | —    |
| 畑輪換区                       | 豆                      | <u>Aspergillus sp.</u>      | 32.0                  | 17.8   | —    |
|                            |                        | <u>Fusarium sp.</u>         | 35.7                  | 8.8    | 5.0  |
| <u>Penicillium sp.</u>     |                        | 14.3                        | 14.0                  | 37.5   |      |
| <u>Rhizopus sp.</u>        |                        | —                           | 50.6                  | 12.5   |      |
| Unidentified (Ascomycetes) |                        |                             |                       | (45.0) |      |
| Others                     |                        | 18.0                        | 8.8                   | —      |      |
| 畑輪換区                       |                        | ジャガイモ<br>+<br>白菜            | <u>Alternaria sp.</u> | —      | 16.0 |
|                            | <u>Aspergillus sp.</u> |                             | 32.0                  | 12.0   | —    |
|                            | <u>calonectria sp.</u> |                             | —                     | 22.0   | —    |
|                            | <u>Fusarium sp.</u>    |                             | 22.0                  | 14.0   | 19.2 |
|                            | <u>Gliocladium sp.</u> |                             | 12.0                  | —      | —    |
|                            | <u>Penicillium sp.</u> |                             | 14.0                  | 36.0   | 36.5 |
|                            | <u>Trichoderma sp.</u> |                             | —                     | —      | 32.7 |
|                            | Others                 |                             | 20.0                  | —      | 11.6 |

—：検出されていない(×10<sup>4</sup>)

優占の糸状菌の分布の比率が年次間相異なるのは、田畑輪換の形態による各土壌の環境の因子の変化と、作付体系による作物の種類と栽培法及び作物の根の分泌物等互いに違う条件が複合的に作用したと思われ、栽培作物による糸状菌の分布の変化中、豆の栽培区の場合 Rhizopus 属と子囊菌類が、ジャガイモの栽培区では Sclerotinia 属と Trichoderma 属が年次間相異なる分布を見せ、それから作付の体系と関係なく一番多い分布を見せた糸状菌は Penicillium 属と Aspergillus 属の菌だった。

### 3) 微生物体の総量

土壌の微生物体量 (Microbial biomass) は作物の生産に直接的或いは間接的に寄与して、土壌の微生物が旺盛に活動している土壌は、菌体の増殖と死滅を反復する間、物質代謝の回転が早くなって或いは微生物の代謝作用による土壌の中の物質は、無機態と有機態で循環しながら植物が必要としている養分が多量供給されると知らせている。

耕作地の土壌で土壌の微生物体の総量の主要な構成源は細菌、放線菌、糸状菌、原生動物、小型円形の動物及び小型甲殻類で、これらの構成の比率は土壌の環境の要素、即ち土壌の種類、水分、温度、土壌の養分、土壌の管理及び生物相互間の作用等によって違う。

輪作栽培地の土壌の微生物体の総量は、田畑輪換及び作付の形態によって相異したが、試験 2 年次の'90年には 2 年輪換の豆の栽培区で 146.6kg/10a で一番多く、水稲連作区で 53.1 kg/10a で一番少なく、試験 4 年次の'92年度には毎年輪換区のジャガイモ-白菜-水稲輪作栽培区が 66.7kg/10a で一番多く、水稲連作区は 35kg/10a で、畑輪換区の連作栽培時は 24-25kg/10a で一番少なくて年次間に差を見せたが、連作栽培区に比べて輪作栽培の時の微生物体の量が増加した(表 4)、(表 5)。

輪作栽培地の土壌の総有機態の炭素、窒素、リン酸の含量に対する微生物の構成の炭素の比率は作付の体系によって相異したが、水稲と豆の連作栽培区が 2.8-2.9%、輪作栽培区が 3.5-5.6% で試験 2 年次のように輪作の時に微生物体の量が増加する傾向を見せた。

Bottmer の研究によると、微生物体の総量は土壌の差、墾生耕耘方法及び試料の採取の時期等によって相異し、大体平均値は 0.27-7.0% で連作栽培の時には 2.3%、休閑する時には 2.9% で知らせている。Brooks 等の研究によるポット試験の場合 2.2%、圃場で連続単作の時 1.8-2.1%、長期輪作の試験では 2.5-3.3% で互いに違う差を見せた。

表4 作付形態別微生物体総量(microbial biomass)及び微生物体構成炭素、窒素及びリン酸(microbial biomass-C, N, P)の変化

| 作付形態                | 微生物体総量<br>(kg/10 a) | 炭 素                            |                   | 窒 素                            |               | 磷 酸   |  |
|---------------------|---------------------|--------------------------------|-------------------|--------------------------------|---------------|---|--|
|                     |                     | BC <sup>1</sup> /<br>(kg/10 a) | BC/<br>org. -C(%) | BN <sup>2</sup> /<br>(kg/10 a) | BN/<br>T-N(%) | BP <sub>2</sub> O <sub>5</sub> <sup>3</sup> /<br>(kg/10a) | BP <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /<br>T-P(%) |
| 水稲連作                | 53.1                | 22.0                           | 1.7               | 1.88                           | 1.5           | 5.75  | 2.6  |
| 毎年輪換(豆)             | 93.9                | 38.5                           | 3.3               | 3.76                           | 3.3           | 4.50  | 1.8  |
| 〃<br>(ジャガイモ<br>+白菜) | 55.6                | 22.8                           | 1.8               | 3.01                           | 2.6           | 2.50  | 0.9  |
| 2年輪換(豆)             | 146.6               | 60.1                           | 5.2               | 3.38                           | 2.8           | 11.35   | 4.2  |
| 〃<br>(ジャガイモ<br>+白菜) | 69.3                | 28.4                           | 2.3               | 2.63                           | 2.2           | 9.30  | 3.9  |
| 畑輪換(豆)              | 73.1                | 30.0                           | 2.9               | 1.13                           | 1.0           | 3.50  | 1.0  |
| 〃<br>(ジャガイモ<br>+白菜) | 56.8                | 23.3                           | 2.0               | 1.13                           | 1.0           | 5.50  | 1.0  |
| 平均                  | 78.3                | 32.2                           | 2.7               | 2.42                           | 2.1           | 6.06  | 2.3  |

<sup>1</sup>/微生物体構成炭素    <sup>2</sup>/微生物体構成窒素    <sup>3</sup>/微生物体構成リン酸

表5 田畑輪換土壌の作付体系別微生物体量(Microbial biomass)調査

| 輪換形態及び作付体系 |             | Microbial biomass(kg/10 a) |             |
|------------|-------------|----------------------------|-------------|
|            |             | '90                        | '92         |
| 水 稻 連 作    |             | 53.1                       | 35.1 (2.93) |
| 毎年輪換       | 大豆-水稲       | 93.9                       | 58.3 (4.86) |
|            | ジャガイモ+白菜-水稲 | 55.6                       | 66.7 (5.56) |
| 2年輪換       | 大豆-水稲       | 146.6                      | 36.5 (3.51) |
|            | ジャガイモ+白菜-水稲 | 69.3                       | 51.9 (4.33) |
| 畑 輪 換      | 大 豆         | 73.1                       | 25.0 (2.78) |
|            | ジャガイモ+白菜    | 56.8                       | 24.0 (2.14) |
| 休 閑 区      |             | —                          | 18.8 (1.71) |

( )は有機炭素に対する比率%

#### 4) 土壌の酵素の活性

土壌の中の Phosphatase と Urease 活性は作物を植えなかった休閑区と比べて、連作或いは輪作栽培区で施肥量が多い畑の状態が高く、Dehydrogenase は他の区に比べて有機物の含量が多い田の状態で活性が高かった(表 6)。

Phosphatase、Urease、Dehydrogenase の経時的な活性は田畑輪換によって大きな差を見せ(図 5)、5 月の中旬から 8 月中旬まで段々高くなる傾向を見せたが、畑の状態の毎年輪換区と水稲連作区の場合には Phosphatase、Urease の活性は顕著に低下した。

土壌の酵素の活性に影響を及ぼす要因は温度及び水分と粘土鉱物、それから腐植物の影響など色々な要因があるが、Khan はカナダの alberta 灰の山林土壌の Dehydrogenase、Urease、Phosphatase 等の活性を測定して、酵素の活性に及ぼす作付の体系の影響を調査した結果、穀類-豆と作物の 5 年輪作の土壌は、小麦-休閑区の土壌よりも輪作の時に酵素の活性が高く、無施肥区に比べて施肥区で酵素の活性が高いと言ったが、本試験もこのような傾向を見せた。

表 6 田畑輪換土壌の作付形態による土壌酵素活性

(4 年次: 4 回平均)

| 田畑輪換及び作付形態 |              | Phosphatase<br>(P-NP $\mu\text{g}^*/$<br>hr/g soil) | Urease<br>( $\text{NH}_4\text{-N}$ $\mu\text{g}/$<br>hr/g soil) | Dehydrogenase<br>(TPF $\mu\text{g}/$<br>24hr/g soil) |
|------------|--------------|---|---|--|
| 水稲連作       |              | 78.7  | 11.7  | 23.0   |
| 毎年輪換       | 水稲(豆)        | 88.0  | 11.2  | 22.0   |
|            | 水稲(ジャガイモ+白菜) | 98.3  | 16.2  | 25.0   |
| 2年輪換       | 豆(水稲)        | 110.7   | 16.0  | 19.0   |
|            | ジャガイモ+白菜(水稲) | 126.7   | 14.5  | 19.7   |
| 畑転換        | 豆            | 120.2   | 18.2  | 21.7   |
|            | ジャガイモ+白菜     | 131.2   | 19.7  | 17.0   |
| 休閑区(除草区)   |              | 99.7  | 8.2   | 16.2   |

( ) は前年度作物 \* PNP: p-nitrophenol (1hr 生成量の1/5)

水稻連作 一年輪換 二年輪換 \*

畑轉換 休閑區 \*

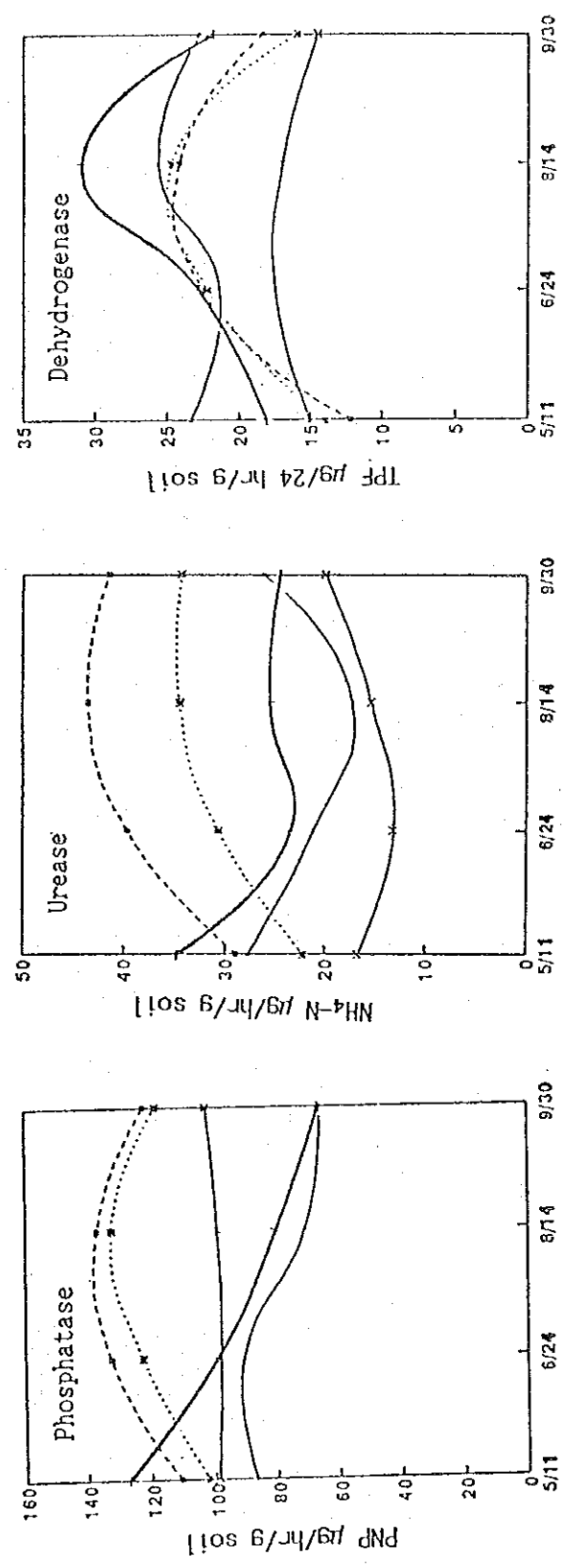


図5 田畑輪換形態による経時的土壌酵素活性



5) 田畑輪換及び作付の形態別根圏微生物相

田畑輪換及び作付の形態による栽培作物の根圏微生物相を調査した結果、表7のように微生物の全体的な菌数は、輪換の形態別で水稲連作と2年輪換区より、畑転換区と毎年輪換区が多い傾向を見せ、細菌>放線菌>糸状菌の順に多かった。その中で細菌は栽培作物の根の表面>根圏土壌>非根圏土壌の順で根の表面で顕著に多く、特に豆の根面で一番多い菌数を見せた反面、栽培作物の根圏土壌及び非根圏土壌では豆よりジャガイモの栽培区で多い傾向を見せた。放線菌の数は栽培作物の根圏によって菌の密度が相異し、豆の栽培区の場合には根圏による菌数の変化は大きな差を見せなかったが、ジャガイモの栽培区は非根圏土壌に比べて根圏土壌、根の表面が1.2-2.0倍程度菌の数が多かった。糸状菌数は栽培作物の根圏土壌>非根圏土壌>根の表面の順で、根の表面より根圏土壌で顕著に多く、豆の栽培区に比べてジャガイモの栽培区の根圏土壌が1.4-1.6倍多く、非根圏土壌でも同じ傾向を見せた。

上のように輪作の栽培地において、根圏土壌の中の微生物の種類別分布は栽培作物の種類によって相異した。それは栽培作物の栽培方法、施肥量等による土壌の中の養分の差にも原因があるが、根圏微生物の活性に一番直接的な影響が及ぶのは、作物の根から分泌される各種の炭水化物とアミノ酸、有機酸等の有機物質の種類と量が作物によって違うし、各々特性が違う菌の生理的活性によって大きな差を見せたと思われる。

表7 田畑輪換形態及び作付体系別根圏微生物相

(cfu/g soil)

| 輪換形態及び作付体系 |       | 細菌 (×10 <sup>6</sup> ) |      |            | 放線菌 (×10 <sup>5</sup> ) |      |            | 糸状菌 (×10 <sup>3</sup> ) |      |            |
|------------|-------|------------------------|------|------------|-------------------------|------|------------|-------------------------|------|------------|
|            |       | 土 壤                    | 根圏土壌 | 根表面<br>(根) | 土 壤                     | 根圏土壌 | 根表面<br>(根) | 土 壤                     | 根圏土壌 | 根表面<br>(根) |
| 水 稲 連 作    |       | 8                      | 29   | 33         | 3                       | 9    | 2          | 8                       | 24   | 13         |
| 毎年輪換       | 豆     | 45                     | 111  | 109        | 27                      | 29   | 29         | 120                     | 198  | 7          |
|            | ジャガイモ | 67                     | 115  | 159        | 65                      | 76   | 105        | 179                     | 295  | 73         |
| 2年輪換       | 豆     | 44                     | 79   | 163        | 62                      | 65   | 28         | 82                      | 110  | 10         |
|            | ジャガイモ | 51                     | 76   | 159        | 67                      | 106  | 96         | 142                     | 172  | 22         |
| 畑 転 換      | 豆     | 59                     | 87   | 390        | 64                      | 76   | 55         | 87                      | 127  | 12         |
|            | ジャガイモ | 68                     | 105  | 191        | 79                      | 140  | 155        | 134                     | 183  | 22         |
| 休 閑 区      |       | 18                     | —    | —          | 33                      | —    | —          | 79                      | —    | —          |

\*根：生体中 g

表8 田畑輪換形態及び作付体系別微生物の構成比率

| 輪換形態及び作付体系 |       | B/F率  |       |            | A/F率 |      |            | B/A率 |      |            |
|------------|-------|-------|-------|------------|------|------|------------|------|------|------------|
|            |       | 土 壤   | 根圏土壌  | 根表面<br>(根) | 土 壤  | 根圏土壌 | 根表面<br>(根) | 土 壤  | 根圏土壌 | 根表面<br>(根) |
| 水 稻 連 作    |       | 1,000 | 1,208 | 2,538      | 38   | 38   | 15         | 27   | 32   | 165        |
| 毎年輪換       | 豆     | 375   | 561   | 15,571     | 23   | 15   | 414        | 17   | 38   | 38         |
|            | ジャガイモ | 374   | 390   | 2,178      | 36   | 26   | 144        | 10   | 15   | 15         |
| 2年輪換       | 豆     | 537   | 718   | 16,300     | 76   | 59   | 280        | 7    | 12   | 58         |
|            | ジャガイモ | 359   | 442   | 7,227      | 47   | 62   | 436        | 8    | 7    | 17         |
| 畑 転 換      | 豆     | 678   | 685   | 32,500     | 74   | 60   | 458        | 9    | 11   | 71         |
|            | ジャガイモ | 507   | 574   | 8,682      | 59   | 77   | 705        | 9    | 8    | 12         |

根圏微生物の構成の比率の中で糸状菌に対する細菌の比率(B/F)、放線菌の比率(A/F)、それから放線菌に対する細菌の比率(B/A)は表8のように、田畑輪換の形態及び作付の形態によって相異なる。その中で栽培作物の根圏及び非根圏土壌の田畑輪換の形態による B/F率と A/F率は、畑転換区>2年輪換区>毎年輪換区の順で畑に転換した区で高い傾向を見せ、根圏微生物の B/F、B/A率は栽培作物の全てが根の面>根圏土壌>非根圏土壌の順で根の部分で細菌の構成の比率が一番高かった。

A/F率は豆の栽培区の場合には、非根圏土壌>根圏土壌>根の面の順で非根圏土壌で高く、ジャガイモの栽培区の場合には、根の面>根圏土壌>非根圏土壌の順で根の表面で一番高い比率を見せた。

#### 6) 輪作栽培地の作付の形態別根圏細菌の栄養の要求性

輪作栽培地の栽培作物の根と、根圏土壌から細菌を分離して、栄養の要求性による細菌の分布の比率を調査した結果、表9のように田畑輪換及び作付の形態によって相異したが、輪換の形態より導入された作物の種類と根圏の影響が最も大きく作用したことに表れた。栽培作物による根の表面の細菌の栄養の要求性は水稻の場合には、アミノ酸+生育因子の要求菌>酵母 extract+土壌浸出液の要求菌>アミノ酸の要求菌の順で高く、豆の場合には酵母 extract+土壌浸出液>アミノ酸+生育因子>アミノ酸の要求菌、ジャガイモの場合にはアミノ酸+生育因子の要求菌>アミノ酸>酵母 extract+土壌浸出液の要求菌の順で栽培作物間に相異分布を見せたが、根では大体アミノ酸+生育因子の要求菌の分布の比率が高かった。

根圏土壌では栽培作物全てが酵母 extract+土壌の浸出液>アミノ酸及びアミノ酸+生育因子>酵母 extract>単純な栄養の要求菌の順で、酵母 extract+土壌の浸出液の要求菌が

46.7-61.3%で顕著に多くて、アミノ酸の要求菌も9.7-31.1%で多い分布を見せる反面、非根圏土壌では酵母 extract+土壌浸出液>酵母 extract>アミノ酸>単純な栄養の要求菌の順で、酵母 extract+土壌浸出液の要求菌が57.1-68.9%で、根圏土壌のように顕著に多い分布を見せたが、アミノ酸の要求菌は6.7-16.7%で根圏から遠くなるほど分布の比率は顕著に減少した。それから田畑輪換の形態によるアミノ酸の要求菌の分布の変化は豆、ジャガイモの根圏土壌で毎年輪換区の13.3-15.6%より畑転換区が24.4-31.1%で、畑に転換した区でアミノ酸の要求菌の分布の比率が高くなる傾向を見せた。以上でアミノ酸及びアミノ酸+生育因子の要求菌は、根表面>根圏土壌>非根圏土壌の順で、根で顕著に多い分布を見せ、酵母 extract+土壌浸出液の要求菌は主に土壌で多い分布を見せた。特にアミノ酸の要求菌とビタミンの要求菌などの生理的活性が高い菌の活性が根圏で顕著に高くなったのは、植物の根から分泌される色々な種類のアミノ酸と、根圏微生物が生産する代謝物質等によって、活性が根圏で顕著に高くなったと思われる。

表9 輪作栽培地作付体系別根圏細菌の栄養要求性('93.6.18)

| 田畑輪換<br>及び<br>作付形態 | 区 分   | 栄養要求性による細菌の分布率(%) |                  |                  |                      |                        |              |                          |      |
|--------------------|-------|-------------------|------------------|------------------|----------------------|------------------------|--------------|--------------------------|------|
|                    |       | 単純栄養<br>要求菌<br>a  | アミノ酸<br>要求菌<br>b | 生育因子<br>要求菌<br>c | アミノ酸<br>+生育因子<br>要求菌 | 酵母 extract<br>要求菌<br>d | 土壌浸出<br>液要求菌 | 酵 母<br>extract+<br>土壌浸出液 |      |
| 水稲連作区              | 土 壤   | 11.9              | 16.7             | —                | 4.8                  | 9.5                    | —            | 57.1                     |      |
|                    | 根圏土壌  | 9.7               | 9.7              | 3.2              | 16.1                 | —                      | —            | 61.3                     |      |
| 毎年<br>輪換<br>区      | 豆     | 土 壤               | 8.9              | 13.3             | —                    | —                      | 8.9          | —                        | 68.9 |
|                    |       | 根圏土壌              | 2.2              | 15.6             | —                    | 17.8                   | 6.7          | —                        | 57.8 |
|                    | ジャガイモ | 土 壤               | 15.6             | 8.9              | —                    | —                      | 17.8         | 2.2                      | 57.8 |
|                    |       | 根圏土壌              | 4.4              | 13.3             | —                    | 20.0                   | 2.2          | —                        | 57.8 |
| 畑<br>転換<br>区       | 豆     | 土 壤               | 4.4              | 6.7              | —                    | 26.7                   | —            | —                        | 62.2 |
|                    |       | 根圏土壌              | 2.2              | 24.4             | 15.6                 | 2.2                    | —            | —                        | 51.1 |
|                    | ジャガイモ | 土 壤               | 4.4              | 6.7              | —                    | 15.6                   | 13.3         | —                        | 60.0 |
|                    |       | 根圏土壌              | 6.7              | 31.1             | —                    | 11.1                   | 4.4          | —                        | 46.7 |
| 水 稻                | 根 表 面 | —                 | 26.7             | 40.0             | —                    | —                      | —            | 33.3                     |      |
| 豆                  | 根 表 面 | 7.5               | 25.0             | 2.5              | 30.0                 | —                      | —            | 35.0                     |      |
| ジャガイモ              | 根 表 面 | —                 | 35.0             | —                | 40.0                 | —                      | —            | 25.0                     |      |

a : glucose、無機塩類を添加した基本培地

b : glucose、無機塩類+Casamino acid0.4%

c : glucose、無機塩類+Cystein, Thiamine, Biotin, Pyridoxine, Pantothenic acid

d : glucose、無機塩類+酵母抽出液0.1%

7) 輪作栽培地の土壌の病原性の細菌及び糸状菌の密度

土壌の病原性の細菌の中で、Agrobacterium 属と Erwinia 属は、輪作栽培地で非常に少ない密度を見せ、Xanthomonas 属の細菌は、豆-水稻輪作栽培区に比べて、ジャガイモ+白菜-水稻の輪作栽培区で顕著に多い菌数を見せた。病原性の糸状菌の中で Fusarium 属の菌は F. solani に比べて、F. oxysporum が最も多い菌数の検出を見せ、畑転換区のジャガイモの栽培区で一番多い菌数を見せた。土壌の病原性の微生物と土壌の養分間の比率との関係で Xanthomonas 属の細菌と Fusarium oxysporum は Ca+Mg/K 率が低いジャガイモ+白菜の栽培区に比べ、Ca+Mg/K 率が高い豆の栽培区で顕著に低い菌の密度を見せ、Bains が報告した土壌の陽イオン間の比率、即ち Ca+Mg/K、Na+K/Ca+Mg、或いは Ca/K の比率が作物の耐病性とは正の相関を見せたのと一致した。

それから、Fusarium 属の菌は毎年田畑輪換によって顕著な減少を見せたが、Pythium 菌は反対に、毎年田畑輪換によって菌数が増加する傾向を見せた。

表10 輪作培地土壌細菌及び糸状菌属微生物調査('93.6.18)

| 輪換形態及び作付体系 |       | 土壌細菌(×10 <sup>2</sup> ) |      |          |      |          |      | Fusarium 属(×10 <sup>2</sup> ) |      |           |      | Pythium 属           |      |
|------------|-------|-------------------------|------|----------|------|----------|------|-------------------------------|------|-----------|------|---------------------|------|
|            |       | Agro. sp.               |      | Erw. sp. |      | Xan. sp. |      | F. oxys-                      |      | F. solani |      | (×10 <sup>2</sup> ) |      |
|            |       | 土壌                      | 根圏土壌 | 土壌       | 根圏土壌 | 土壌       | 根圏土壌 | 土壌                            | 根圏土壌 | 土壌        | 根圏土壌 | 土壌                  | 根圏土壌 |
| 水稻連作       |       | 0                       | 13   | 0        | 0    | 41       | 62   | 0                             | 0    | 0         | 0    | 2                   | 13   |
| 毎年輪換       | 豆     | 1                       | 2    | 2        | 1    | 25       | 7    | 0                             | 5    | 0         | 0    | 10                  | 15   |
|            | ジャガイモ | 9                       | 11   | 4        | 1    | 305      | 229  | 15                            | 12   | 0         | 0    | 34                  | 22   |
| 2年輪換       | 豆     | 13                      | 0    | 5        | 5    | 73       | 48   | 10                            | 10   | 0         | 0    | 10                  | 5    |
|            | ジャガイモ | 20                      | 6    | 4        | 9    | 170      | 109  | 27                            | 34   | 2         | 1    | 5                   | 7    |
| 畑転換        | 豆     | 10                      | 12   | 1        | 4    | 18       | 30   | 7                             | 7    | 2         | 0    | 1                   | 7    |
|            | ジャガイモ |                         |      |          |      |          |      |                               |      |           |      |                     |      |
| 休 閑 区      |       | 6                       | —    | 0        | —    | 26       | —    | 9                             | —    | 0         | —    | 3                   | —    |

—Agro. : Agrobacterium  
 —Erw. : Erwinia  
 —Xan. : Xanthomonas

8) 田畑輪換の形態による大豆の根粒の形成量

田畑輪換の形態による大豆の根粒の形成量を調査した結果、表11のように総根粒数は、毎年輪換区>畑転換区>2年輪換区の順で毎年輪換区が一番多かったが、個体当根粒の大きさ

と重さは反対で、一番少なくても有効根粒数の比率も60.6%で、田転換区の84.4%に比べて顕著に低い有効根こぶの形成率を見せた。

これは水稲と豆の毎年輪換によって、土壌の水分の含量と物理性及び通気性の条件が、畑に転換した畑転換に比べて不利で非常に好気性の根粒菌の活性と、根粒の形成に支障を及ぼすことと思われる。しかし、畑転換区で栽培された大豆の総根粒の形成量は毎年輪換区に比べて大きな差はなかったが、個体当根粒が大きくて重く、有効根粒の形成率も84.4%で2年輪換区の76.9%と、毎年輪換区の60.6%に比べて非常に高い有効根粒の形成を見せた。

表11 田畑輪換形態による大豆根粒形成量調査('93.8.20)

| 輪換形態  | 根瘤形成量           |                  | 総根粒重<br>(g/10株) | 結実数<br>(個/株) |
|-------|-----------------|------------------|-----------------|--------------|
|       | 総根粒数<br>(個/10株) | 有効根粒数<br>(個/10株) |                 |              |
| 毎年輪換  | 1,518           | 920 (60.6%)      | 33.0            | 42.5         |
| 2年輪換  | 1,288           | 990 (76.9%)      | 30.3            | 43.8         |
| 畑 転 換 | 1,465           | 1,236 (84.4%)    | 42.4            | 48.4         |

#### (4) 摘 要

田畑輪換及び作付の体系が相異なる輪作栽培地で、土壌の微生物相の変化と土壌化学性との関係、土壌の病原性微生物の消長、土壌の酵素の活性などを調査した結果を要約すると次のようだ。

- 1) 土壌の微生物の数は、田畑輪換の形態及び作付体系によって顕著な差を見せた。土壌養分の中で窒素、リン酸、加里含量と微生物の数の増加は比例し、硝酸態窒素の含量と亜硝酸の酸化細菌数、有効リン酸の含量と糸状菌数は有意的な相関関係を見せた。
- 2) 窒素酸化する微生物の数は輪換の形態別で、畑転換 > 2年輪換 > 毎年輪換の順で菌の数が多く、その中で脱窒菌とアンモニアの酸化の細菌数はジャガイモ-白菜の栽培区で、亜硝酸酸化の細菌数は豆の栽培区で多い菌数を見せた。
- 3) 土壌の中で Ca+Mg/K の比と細菌数は正の相関関係を、それから糸状菌は負の相関関係を見せた。
- 4) 輪作栽培地の優占糸状菌の分布は、輪換の形態及び作付の体系別で年次間相異なる分布を見せた。その中で豆の栽培区では Rhizopus 属と予囊菌類が、ジャガイモの栽培区では Sclerotinia 属と Trichoderma 属が、年次間相異なる分布を見せ、作付の体系と関係なく多い分布

を見せた糸状菌は *Aspegillus* 属、*Fusarium* 属、*Penicillium* 属等だった。

- 5) 輪作栽培地の土壌の中の総有機態の炭素、窒素、リン酸の含量に対する微生物体の構成の炭素、窒素、リン酸が占める比率は各々2.5%、2.1%、2.3%だった。
- 6) 微生物体の総量は'90年度には毎年輪換と2年輪換の豆の栽培区で、'92年度には毎年輪換のジャガイモの栽培区で多かった。
- 7) 土壌の酵素の活性は田畑輪換及び作付の形態によって相異し、Phosphatase は畑転換区のジャガイモ+白菜栽培区で、Dehydrogenase は水稲連作区と毎年輪換区で活性が一番高かった。
- 8) 栄養の要求性による細菌の分布比率は、土壌及び根圏土壌で主に酵母 extract+土壌浸出液の要求菌>アミノ酸の要求菌>単純栄養の要求菌の順で、酵母 extract+土壌浸出液の要求菌が顕著に多くて、根の表面ではアミノ酸及び生育因子の要求菌が多い分布を見せた。
- 9) 輪作栽培地の土壌の中で、病原性微生物の消長は豆の栽培区に比べてジャガイモの栽培区で菌数が顕著に多く、*Xanthomonas* 属の細菌は毎年輪換区、*Fusarium* 属の菌は、畑転換区が違う輪換に比べて多い菌数を見せた。
- 10) 輪換形態による大豆根粒の形成量の中で、有効根粒の数は毎年輪換区に比べて、畑転換区で多くて個体当たり根粒も重かった。

〈文献省略〉

## 2. 施設栽培連作地施肥量と土壤養分の変化に関する研究

遂行機関：農業技術研究所

担当者：李相銀、宋堯聖、李溶宰、李春秀

### (1) 緒 言

生活水準の向上と食生活様式の変化による新鮮野菜の年中供給が要求され、需要が創出になって経済的な面で供給者の農民たちに大きな恵沢を与えるので、施設野菜の栽培面積が拡大一路にある。これによって施設野菜の栽培のため、畑の田転換も大きく増加されていて、現在、韓国の中北部地域では畑が田転換された場合で耕地面積の60%以上で施設野菜が栽培されていると報告されている。

田転換の年中作物が栽培される施設ハウス内の土壤は、休閑期にも降雨が遮断されて垂直排水による溶脱が少ない。一方では、施設野菜の栽培の作付の体系が年中多作の高度集約の栽培であるから、施肥の管理に最新の注意を傾けなければならないにもかかわらず、大部分の農民たちは土壤自体の肥沃度を考慮しなくて、毎作期慣行的な施肥をしているから、塩類の過剰による被害が頻繁に発生している。韓国の施設野菜の栽培地の土壤の化学的特性を調査した結果、多くの場所で塩の濃度が作物の被害の限界より高く、特に磷酸と加里が過剰集積されていると報告されている。

施設野菜の栽培地の塩類の過剰蓄積の問題を解消するためには、土壤検定を通じる適切な施肥の管理が早急に必要である。適切な土壤診断と施肥推薦のため、農業技術研究所では数年間多量の実験を遂行してきて、最近その結果を総合して田作物に対する施肥処方基準を設定した。一方、これを土台に作られた施肥処方の電算プログラムを各市、郡指導所に配布し農民たちに施肥処方を手早くして上げるようにしている。しかし、この施肥処方基準は露地条件で実施され、ポット及び圃場試験結果を土台に設定されているので、特定養分の過剰とともに土壤養分間の不均衡で生理障害が表れやすい施設園芸では作物の吸収量、利用率及び養分相互間の拮抗と相助作用を勘案して異なってくる場合もあると言及されたことがある。

一方、施設園芸地の塩類過剰蓄積は作物の生育障害のため、収量減少で経済的損失を呼ぶだけでなく、蓄積された養分が地表水と地下水の汚染を起こすことになる。従って“持続可能な農法”の概念のもとに適正な生産性の維持と、環境汚染の防止という二つの目標を同時に満足させる施肥技術の開発が早急に要請されている。これを簡単に言うと、施肥量を減らして、その代わりに施肥効率を増進させる技術の開発だと言われる。

施肥効率増進のための接近方式では、養分収支(Nutrient balance)に対する研究が上げられるが、これは投入量(Input)と算出量(Output)の差異を計算して、施肥適量を予測する方法であ

る。一方、コンピューター技術が発達している最近では土壌-水分-作物が相互連関された系内で、各養分の行動を模型モデル化させる研究が多く進展されている。

本実験は畑に転換された後多年間にかけて栽培された塩類が、過剰蓄積された施設園芸地の問題点を解決するため、施設栽培の農家の塩類蓄積の実態調査とともに、過剰蓄積された塩類を減少させる方策で、稲わら施用効果、葉菜類と果菜類の栽培の時に土壌検定を通じる減量施肥の効果などを検討し、その一方で環境問題を考慮して、窒素と加里の養分収支を検討した。

## (2) 材料及び方法

1989年から1993年の5年間をかけて実験し、毎年試験方法が違う。年度別に使用された材料及び方法を説明した後、植物体及び土壌分析方法は年度に関係なく同一だから、終りの部分で総合的に説明した。

### <1989年度>

稲わら施用による  $\text{NO}_3\text{-N}$  の含量の変化を見るために、施設栽培土壌100gに稲わらを0、500kg/10aの2水準、窒素は硫酸を使用して0、20、40kg/10aの3水準で室内で要因実験をした。

土壌の水分を最大容水量の70%で調節しながら、 $20 \pm 2^\circ\text{C}$ で恒温させて1週間隔で4週間  $\text{NO}_3\text{-N}$  を分析した。一方、恒温4週間後の土壌の化学性の変化を見るために土壌の一般分析をした。

### <1990年度>

施設栽培地の塩類の蓄積実態を調査するため、1989-1990年にかけて全国施設園芸農家211地点で、栽培年数に対する聴取調査とともに表土を採取して土壌の一般分析をした。

一方、リン酸と加里が多量蓄積されている施設栽培地の土壌(表1)では、施肥量によるサニーレタスとハウレンソウの収量反応を検討した。処理でハウレンソウの栽培の時に施肥量をN-P-Kで22-18-18、22-3-18、22-3-3 kg/10aの3水準にし、ハウレンソウの栽培の時には20-16-16、20-3-13、20-3-3 kg/10aにして、栽培の後に作物収量と土壌の化学性を調査した。

表1 1990年度サニーレタスとハウレンソウ施設栽培圃場試験供試土壌の化学性

| 作物     | pH<br>(1:5) | OM<br>(%) | Av. $\text{P}_2\text{O}_5$<br>(ppm) | Ex. cation (me/100g) |     |     | EC<br>(dS/m) | $\text{NO}_3\text{-N}$<br>(ppm) |
|--------|-------------|-----------|-------------------------------------|----------------------|-----|-----|--------------|---------------------------------|
|        |             |           |                                     | K                    | Ca  | Mg  |              |                                 |
| サニーレタス | 6.5         | 2.5       | 1,500                               | 0.80                 | 8.2 | 2.2 | 3.0          | 255                             |
| ハウレンソウ | 6.4         | 2.8       | 1,404                               | 0.80                 | 7.7 | 2.3 | 2.5          | 184                             |



<1991年度>

施設野菜の塩類蓄積地でN、P、Kの施肥の基準を確立するため、春菜と秋ホウレンソウを供試作物にして圃場試験を実施した(表2)。処理は白菜の場合、1)無肥区 2)N、P、K慣行区(32-26-26kg/10a) 3)慣行0.5倍区(16-13-13kg/10a) 4)土壌検定区(32-7-19kg/10a) 5)P、K基本施肥量区(32-3-3 kg/10a)にして、ホウレンソウは 1)無肥区 2)N、P、K慣行区(32-25-25kg/10a) 3)慣行0.5倍区(15-13-13kg/10a) 4)土壌検定区(30-3-3 kg/10a)にして乱塊法3反復で配置した。窒素は沃素で、リン酸は溶過燐で、加里は塩化加里で調節施肥した後、土壌の化学性と植物体の無機成分の吸収量及び収量を調査した。

表2 1991年度白菜とホウレンソウ施設栽培圃場試験供試土壌の化学性

| 作物     | pH<br>(1:5) | OM<br>(%) | Av. P <sub>2</sub> O <sub>5</sub><br>(ppm) | Ex. cation (me/100g) |     |     | EC<br>(dS/m) | No <sub>3</sub> -N<br>(ppm) |
|--------|-------------|-----------|--|----------------------|-----|-----|--------------|-----------------------------|
|        |             |           |  | K                    | Ca  | Mg  |              |                             |
| 白菜     | 5.6         | 2.7       | 1,035                                      | 0.94                 | 6.7 | 1.4 | 3.1          | 242                         |
| ホウレンソウ | 5.6         | 2.3       | 940  | 1.00                 | 3.8 | 0.8 | 1.6          | 45                          |

<1992年度>

養分が過多に集積された施設園芸地のトマトに対する窒素と加里の施肥の反応を検討して、施肥の水準別養分収支を求めるため、田畑転換後4年連続で野菜を栽培しているNO<sub>3</sub>-N、AV. P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>、Ex. Kが集積された施設園芸地(江西砂壤土)でトマトを供試して圃場試験を実施した(表3)。処理は無肥区、鶏糞おがくず施用区のほか、鶏糞おがくず施用に加えて、窒素と加里の水準の異なる6処理で総8個の処理にして乱塊法3反復で配置した(表4)。ここでN1とK1は現行施肥推薦方法によって計算された施肥推薦量で、各々30kg/10aと22.5kg/10aだった。鶏糞おがくずの施用量は4 ton/10aで分析成績は表5に示している。窒素と加里は基肥と追肥を各々57%、43%使用して追肥は25日間隔で3回同量分施した。基肥は定植前に全面散布して追肥は水に溶かして灌肥で施肥した。全処理とともにリン酸4 kg/10aを溶成燐肥で施肥して消石灰120kg/10aを鶏糞おがくず堆肥とともに定植11日前に施用した。

トマトは日本産品種“日産”を使用し、1992年1月12日播種して3月23日に25×40cm栽植距離で定植し、3段階抑制栽培をし、6月4日から7月7日まで2日間隔で収穫した。

土壌試料は追肥直前及び収穫後、また約4週間間隔で土深7 cm間隔で28cmまで4部位を採取した。土壌の分析中にNH<sub>4</sub><sup>+</sup>-NとNO<sub>3</sub>-Nは湿土を使用し、それ以外の土壌の一般

分析は風乾後 2 mm を通過させた試料を使用した。

表 3 1992年度トマト施設栽培圃場試験供試土壌の化学性

| 土 性 | pH<br>(1:5) | OM<br>(%) | Av. P <sub>2</sub> O <sub>5</sub><br>(ppm) | Ex. cation (me/100g) |     |     | EC<br>(dS/m) | NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N<br>(ppm) |
|-----|-------------|-----------|--|----------------------|-----|-----|--------------|--|
|     |             |           |  | K                    | Ca  | Mg  |              |  |
| 砂壤土 | 5.8         | 2.2       | 1,488                                      | 1.00                 | 6.7 | 1.7 | 5.1          | 351                                      |

表 4 1992年度トマト施設栽培圃場試験処理内容

| 処 理            | N, K <sub>2</sub> O 施肥量 (kg/10 a) |                  |
|----------------|-----------------------------------|------------------|
|                | N                                 | K <sub>2</sub> O |
| 無肥区            | 0                                 | 0                |
| 鶏糞おがくず         | 0                                 | 0                |
| 鶏糞おがくず+N0+K1   | 0                                 | 22.5             |
| 鶏糞おがくず+N0.5+K1 | 15                                | 22.5             |
| 鶏糞おがくず+N1+K0   | 30                                | 0                |
| 鶏糞おがくず+N1+N0.5 | 30                                | 11.3             |
| 鶏糞おがくず+N1+K1   | 30                                | 22.5             |
| 鶏糞おがくず+N1+K1.5 | 30                                | 33.8             |

\* 土壌診断による施肥量：N1=N30kg/10a、K1=K22.5kg/10a、  
鶏糞おがくず堆肥=4ton/10a

表 5 1992年度処理に使用された鶏糞おがくず堆肥の成分

| 乾物含量<br>(%) | NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N<br>(ppm) | NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N<br>(ppm) | T-N | T-C | K <sub>2</sub> O<br>(%) | CaO<br>(%) | MgO | Na <sub>2</sub> O |
|-------------|--|--|-----|-----|-------------------------|------------|-----|-------------------|
| 32          | 496                                      | 21                                       | 1.1 | 45  | 2.6                     | 6.1        | 1.2 | 0.49              |

\* 乾物含量(%) = 乾物重/生重×100

<1993年度>

田畑転換した後 5 年連続で野菜を栽培して、窒素とリン酸が過剰に集積された施設栽培地で窒素と鶏糞おがくず堆肥の施肥量による、トマトの施肥反応と処理による窒素収支を見るた

め、江西の砂壤土の施設栽培地で圃場実験を実施した(表6)。

表6 1993年度トマト施設栽培圃場試験供試土壌の化学性

| pH<br>(1:5) | OM<br>(%) | EC<br>(dS/m) | Inorganic N (ppm)            |                              | Av. P <sub>2</sub> O <sub>5</sub><br>(ppm) | Ex. cation (me/100g) |     |     |      |
|-------------|-----------|--------------|------------------------------|------------------------------|--|----------------------|-----|-----|------|
|             |           |              | NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> | NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> |  | K                    | Ca  | Mg  | Na   |
| 6.0         | 2.0       | 2.3          | 150                          | 5                            | 1,173                                      | 0.58                 | 6.4 | 1.2 | 0.26 |

処理は無処理、窒素2水準、鶏糞おがくず堆肥2水準、窒素と鶏糞おがくず混合処理とした(表7)。窒素肥料は基肥と追肥を各々75%、25%比率で処理し、基肥は尿素を定植前に全面散布し、追肥は定植後59日目に尿素を水に溶かして灌肥で施肥した。完熟した鶏糞おがくず堆肥は定植5日前に基肥で施用して鶏糞おがくず堆肥の造成は表8のようである。栽培期間中の鶏糞おがくず堆肥の無機化量は別に室内の恒温実験から得られた次頁の等式によって計算した。

表7 1993年度トマト施設栽培圃場試験処理内容

| 処 理 内 容                        |
|--------------------------------|
| 無処理                            |
| N15kg/10 a                     |
| N30kg/10 a                     |
| 鶏糞おがくず堆肥4ton/10 a              |
| 鶏糞おがくず堆肥8ton/10 a              |
| 鶏糞おがくず堆肥4ton/10 a + N15kg/10 a |

表8 1993年度処理の使用された鶏糞おがくず堆肥の成分

| 乾物含量*<br>(%) | 無機態窒素(ppm)**                    |                                 | T-N  | T-C  | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | K <sub>2</sub> O | CaO | MgO  |
|--------------|---------------------------------|---------------------------------|------|------|-------------------------------|------------------|-----|------|
|              | NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N | NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N |      |      |                               |                  |     |      |
| 57           | 893                             | 28                              | 1.40 | 19.3 | 3.4                           | 2.7              | 5.2 | 0.91 |

\* 乾物含量(%) = 乾物重/総重 × 100

\*\* 無機態窒素は2 M KCl 浸出

$$Y = 53.43 - 4.6X \quad (1)$$

上の式でYは無機化率(%)で“無機態の窒素量/堆肥中のT-N量×100”で計算し、Xは鶏糞おがくず堆肥の乾物重(ton/10a)だった。

トマトは日本産品種の日産を使用して1993年1月1日播種し、3月9日に25×40cm栽培距離でビニールで被覆後定植して3段抑制栽培をし、5月19日から6月28日まで2日間隔で収穫した。栽培期間中の灌水量と灌水時期は表9のようで、灌水方法はビニール被覆の下に設置された噴水を使用した。一方、灌漑水中の養分の含量は表10のようだ。

土壌の試料は試験前後に4週間間隔で採取して、土深20cm間隔で100cmまで5部位にした。土壌分析中NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-NとNO<sub>3</sub><sup>-</sup>-Nは湿土を使用し、それ以外の一般分析は風乾後乾土を使用した。

表9 灌水時期及び灌水量

| 定植後日数<br>(日) | 0    | 7   | 22   | 35  | 42   | 48   | 56   | 62   | 67   | 75   | 82   | 84   | 92  | 合計    |
|--------------|------|-----|------|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|-----|-------|
| 灌水量<br>(mm)  | 21.8 | 7.6 | 15.7 | 9.7 | 11.6 | 17.1 | 19.3 | 10.3 | 18.0 | 19.6 | 17.7 | 19.6 | 9.8 | 197.8 |

表10 灌漑水分析成績

| pH  | EC<br>(dS/m) | NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N | HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> | Cl <sup>-</sup> | K <sup>+</sup> | Ca <sup>2+</sup> | Mg <sup>2+</sup> | Na <sup>+</sup> |
|-----|--------------|---------------------------------|-------------------------------|-----------------|----------------|------------------|------------------|-----------------|
|     |              | -----                           |                               |                 | (ppm)          | -----            |                  |                 |
| 6.0 | 0.37         | 7.8                             | 44                            | 39              | 6.0            | 42               | 8.3              | 25              |

#### 〈土壌及び植物体の分析方法〉

土壌分析中無機態窒素の分析は湿土を2MKClで浸出し、NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-NはIndophenol blue法、NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-NはCopperized cadmium reduction methodで自動分析装置(Alpkem RFA300)を利用して分析し、別の湿土を水分定量にして補正した。その他成分の分析の時の土壌試料は風乾土壌を2mmのふるいを通させて使用し、有機物はTyurin法で、有効リン酸はLancaster法で、置換性陽イオンは1N-NaOAc溶液で浸出し、ICP(Inductively Coupled Plasma8440)で測定し、pHは土壌と水の比を1:5にして電位差適定法(Orion model900)で分析し、ECは土壌:水の比を1:5にしてECmeter (Cole Parmer1500-10)で分析した。

植物体の分析は乾燥した試料を粉砕して、水:黄酸:過塩素酸の比が5:1:9の溶液に酸分

解した。分解が終わった試料で窒素は Indopheno 1 blue 法で、リン酸は Meta-vanadate 法で、陽イオンたち(K、Ca、Mg、Na)は ICP (Inductively Coupled Plasma8440) で分析した。

### (3) 結果及び考察

#### 1) 施設栽培地の土壌の問題点

##### ① 塩類の過多集積

'89-'90年の2年間かけて全国施設園芸地の土壌211地点を分析した結果、農技研で推薦されている作物別で土壌の化学成分の適正範囲に比べて、pHを除外した全体土壌の化学成分が高く表れ、その中で特に  $\text{NO}_3^-$ -N、AV.  $\text{P}_2\text{O}_5$ 、Ex.-K と EC が高かった(表11)。

表11 施設園芸地土壌の化学的特性

| 区分 | 調査点数<br>(点) | pH  | OM<br>(%) | Av. $\text{P}_2\text{O}_5$<br>(ppm) | Ex. cation (me/100g) |     |     | $\text{NH}_4^+$ -N<br>(ppm) | $\text{NO}_3^-$ -N<br>(ppm) | EC<br>(dS/m) |
|----|-------------|-----|-----------|-------------------------------------|----------------------|-----|-----|-----------------------------|-----------------------------|--------------|
|    |             |     |           |                                     | K                    | Ca  | Mg  |                             |                             |              |
| 葉菜 | 130         | 5.9 | 3.6       | 1,783                               | 1.36                 | 8.6 | 3.3 | 20                          | 348                         | 3.7          |
| 果菜 | 81          | 5.9 | 3.4       | 1,756                               | 1.19                 | 8.0 | 2.6 | 16                          | 175                         | 4.1          |
| 平均 | 211         | 5.9 | 3.5       | 1,770                               | 1.28                 | 8.3 | 3.0 | 18                          | 262                         | 3.9          |

土壌 EC の場合には果菜類の土壌の平均は4.1dS/m で、塩の種類及び濃度による土壌分類によると、ECが4.0dS/m 以上であるから塩類土壌に属する。一方、葉菜類の土壌の平均値は塩類土壌には属していないが、塩害に弱い野菜類は EC2.0dS/m 以上で塩類障害を受けなかったことで知られているから、調査された土壌で栽培される野菜作物は大部分塩類被害に露出されているように見えた。有効リン酸の場合には野菜類の適正範囲の350-550 ppm に対して3-5倍に蓄積されているから、リン酸と微量の重金属元素の結合による微量の元素の不用化で、この成分が欠乏する可能性があると思われる。

$\text{NO}_3^-$ -N の場合は土壌内で形態の変換と移動がひどくて適正範囲にはなっていないが、施設栽培の土壌の平均値の  $\text{NO}_3^-$ -N262ppm 窒素肥料で計算すると、土壌の仮比重を1.0にして作土15cmを考慮する時39kg/10aにもなって、一般の野菜作物の吸収量の2倍以上が蓄積されていた。 $\text{NO}_3^-$ -Nは土壌内でたやすく溶脱されて地下水の汚染を起こして汚染された地下水を飲む場合、乳児に Methaemoglobinaemia のような恐ろしい病気を誘発するから、格別な関心の対象になる元素だ。施設園芸地の置換性加里は平均含量が1.28 meq/100g で適正値の1.5倍以上蓄積されていた。加里は奢侈吸収をする元素であるから、

Ca と、Mg のような他の陽イオンたちの吸収の時、拮抗作用を起こしてこの養分たちが土壌に適正水準で含有されているとしても植物体に欠乏症状を起こしやすい条件になる。従って、施設園芸土壌で養分の過剰蓄積の問題点の一つ目、総合的な塩類の障害、二つ目、特定養分たちの過剰による毒性、三つ目、養分間の不均衡による相対的なその他養分の欠乏等が混合されて表れるように見えた。

施設栽培の年数による土壌の化学的特性の変化を見ると、施設栽培の初期の1-3年の間にもう pH を除外したすべての土壌の化学特性たちが先に言及した適正範囲を多く上回っているように表れた(表12)。4-6年までは AV、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>、NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N と EC が多く増加した反面、その他成分たちの増加は少なく、7年以上ではすべての化学成分の増加があまり起こっていなかった。施設栽培の初期の1-3年の間にもう塩類の過剰蓄積が見える理由は、施設栽培の初期から土壌の養分を考慮しなくて、多量の肥料と家畜糞尿を施用したからだと思われる。李等は1985年に全国60戸の施設園芸農家の施肥量の聴取調査の結果、N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-N<sub>2</sub>O で72-26-38kg/10a を施肥したと同時に多量の家畜の糞尿の堆肥を施用していたと報告したことがある。栽培してから7年以後からは土壌の化学成分たちの増加ができなかった理由は施肥の過多による生育障害の経験によって施肥量を減らすことだと思われる。このように施設園芸地で塩類の過剰蓄積が起こる一番大きな原因は、土壌検定による耕作地に対する土壌の養分の含量を考慮した適正な施肥をしなくて、慣行的な施肥に依存するからだと思われる。

表12 連作年数別土壌の化学的特性

| 連作年数<br>(年) | 調査点数<br>(点) | pH<br>(1:5) | OM<br>(%) | Av. P <sub>2</sub> O <sub>5</sub><br>(ppm) | Ex. (me/100g) |     |     | NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N<br>(ppm) | NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N<br>(ppm) | EC<br>(dS/m) |
|-------------|-------------|-------------|-----------|--|---------------|-----|-----|--|--|--------------|
|             |             |             |           |  | K             | Ca  | Mg  |  |  |              |
| 1~3         | 32          | 5.5         | 3.0       | 1,087                                      | 1.35          | 7.3 | 2.5 | 12                                       | 136                                      | 3.4          |
| 4~6         | 119         | 5.8         | 3.3       | 1,504                                      | 1.43          | 8.0 | 2.8 | 19                                       | 210                                      | 4.3          |
| 7~9         | 117         | 5.8         | 3.3       | 1,599                                      | 1.58          | 8.0 | 2.8 | 19                                       | 208                                      | 4.3          |
| 10~12       | 126         | 5.8         | 3.5       | 1,712                                      | 1.58          | 8.2 | 3.1 | 21                                       | 234                                      | 4.3          |

## 2) 施設栽培地の蓄積土壌の管理対策

### ① 有機物の施用による NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N の軽減

20℃の恒温条件で稲わら及び窒素の施肥量による NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N の含量の変化を見ると、恒

温日数が経過するとともに全処理で減少される傾向で、稲わらを施用して減少の幅がもっと大きくなった(表13)。稲わらの無施用の時には窒素0-40kgの施用によって、恒温の4週間後に126-374ppmであったが、稲わらの施用の時には90-157ppmで大幅に低くなった。これは金等が報告したように、恒温初期の微生物の活動による窒素の固定化現象であるからだと解析される。黄等は塩類が集積された施設サニーレタス栽培地での塩類の被害の軽減対策で、稲わらを施用した時に初期の生育は多少不振だったが、時間が経過するとともに生育が旺盛になって、収量が増大されたと報告したことがある。

表13 稲わらと窒素施用量が相異なる時恒温日数による土壤中稲わらと $\text{NO}_3^-$ -Nの経時的变化

| 稲わら施用量<br>(kg/10 a) | 窒素施肥量<br>(kg/10 a) | 恒温後日数 (日)         |     |     |     |
|---------------------|--------------------|-------------------|-----|-----|-----|
|                     |                    | 7                 | 14  | 21  | 28  |
|                     |                    | ----- (ppm) ----- |     |     |     |
| 0                   | 0                  | 262               | 121 | 137 | 126 |
|                     | 20                 | 620               | 417 | 386 | 300 |
|                     | 40                 | 692               | 610 | 395 | 374 |
|                     | 平均                 | 525               | 383 | 306 | 267 |
| 500                 | 0                  | 200               | 97  | 95  | 90  |
|                     | 20                 | 570               | 259 | 192 | 107 |
|                     | 40                 | 610               | 276 | 149 | 157 |
|                     | 平均                 | 460               | 211 | 145 | 118 |

稲わらの施用によるその他化学成分の変化を見ると、稲わらの無施用に比べてpH、有効リン酸と置換性加里を多く増加させた(表14)。この結果は先に言及した黄などの実際圃場実験の結果と一致し、稲わらの施用の時に加里肥料の減肥を提案したことがある。この人は稲わらの施用の初期には無処理に比べて土壌ECを高め、後期には減少の効果を表したと言ったが、これは稲わらの施用によって初期には微生物の活動が微弱して、硝酸態窒素の無機化が少ない反面、稲わらの内に多量に含有されている加里が溶出されるからだと見えた。一般的にはha当り稲わらを10M/T施用すると、土壌の中に加里成分が10mg/100g程度増加されると報告されたことがある。

一方、後期になるとともに微生物の活動が増大され、硝酸態窒素の無機化量が増大され

るから EC が低くなったと思われるが、李等は EC に一番寄与度が高い成分は  $\text{NO}_3^- - \text{N}$  だと報告したことがある。

表14 稲わら及び窒素施用量別恒温4週後土壌の化学性

| 稲わら施用量<br>(kg/10 a) | 窒素施肥量<br>(kg/10 a) | pH<br>(1:5) | Av. $\text{P}_2\text{O}_5$<br>(ppm) | Ex. cation (me/100g) |     |     |
|---------------------|--------------------|-------------|-------------------------------------|----------------------|-----|-----|
|                     |                    |             |                                     | K                    | Ca  | Mg  |
| 0                   | 0                  | 6.0         | 1,760                               | 1.09                 | 7.0 | 2.3 |
|                     | 20                 | 5.3         | 1,740                               | 1.82                 | 7.0 | 2.7 |
|                     | 40                 | 5.4         | 1,795                               | 1.73                 | 6.9 | 2.5 |
|                     | 平均                 | 5.6         | 1,765                               | 1.82                 | 7.0 | 2.5 |
| 500                 | 0                  | 6.2         | 1,894                               | 2.10                 | 6.8 | 2.4 |
|                     | 20                 | 6.9         | 1,800                               | 2.23                 | 7.7 | 2.5 |
|                     | 40                 | 6.5         | 1,808                               | 2.06                 | 7.4 | 2.5 |
|                     | 平均                 | 6.5         | 1,834                               | 2.13                 | 7.3 | 2.5 |

## ② 三要素肥料の減肥の効果

### a) 葉菜類に対する効果

1990年度に有効リン酸、置換性加里が高い施設野菜の栽培で、サニーレタスとハウレンソウを公示して、リン酸と加里の減肥効果を見た結果、サニーレタスの収量は農家の慣行で  $\text{N-P-K}$  を  $22-18-18\text{kg}/10\text{a}$  施用した時を100にすると、土壌検定による施肥 ( $22-3-18\text{kg}/10\text{a}$ ) の時には99、 $\text{P-K}$  基本施肥 ( $22-3-3$ ) の時には97の収量を見せ、施肥による施肥の反応が表れていなかった(表15)。ハウレンソウの栽培の場合にも同じ傾向が表れた。



表15 磷酸と加里施肥量によるサニーレタスとハウレンソウの収量と植物体養分含量

| 作物     | N-P-K 施肥量<br>(kg/10 a) | 収量<br>(ton/10 a) | 収量指数<br>(%) | 植物体養分含量 (%) |                               |                  |      |      |
|--------|------------------------|------------------|-------------|-------------|-------------------------------|------------------|------|------|
|        |                        |                  |             | T-N         | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | K <sub>2</sub> O | CaO  | MgO  |
| サニーレタス | 22-18-18               | 3.54             | 100         | 3.98        | 2.16                          | 6.02             | 0.75 | 0.47 |
|        | 22- 3-18               | 3.52             | 99          | 3.97        | 2.09                          | 6.00             | 0.70 | 0.52 |
|        | 22- 3- 3               | 3.42             | 97          | 3.90        | 1.79                          | 5.50             | 0.72 | 0.60 |
| LSD 5% |                        | 0.24             |             |             |                               |                  |      |      |
| ハウレンソウ | 20-16-16               | 3.00             | 100         | 3.55        | 1.83                          | 7.92             | 0.63 | 1.69 |
|        | 20- 3-13               | 3.00             | 100         | 3.36        | 1.45                          | 7.79             | 0.72 | 1.75 |
|        | 20- 3- 3               | 2.94             | 98          | 3.38        | 1.41                          | 6.01             | 1.05 | 2.09 |
| LSD 5% |                        | 0.37             |             |             |                               |                  |      |      |

植物体の無機成分の含量は磷酸と加里肥料の減肥によって、T-N、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>、K<sub>2</sub>Oの含量が全て減少する傾向を見せた。一方、K<sub>2</sub>Oの含量が減少の時、CaOとMgOの含量は大幅に増大したが、これは植物体が陽イオンを拮抗的に吸収するためであると思う。施設野菜の栽培において、石灰の欠乏症状は一番見やすい生理障害の一つで、例えば、白菜の縁焼病(Tip-burn)、へそ腐病(深腐病)、トマトの深腐病などがある。施設野菜の塩類の蓄積地で石灰の欠乏が起りやすい理由は施設野菜の塩類の蓄積地は大体加里の含量が高く、加里を奢侈吸収することになって、これによって石灰が拮抗的に吸収阻害になるのがその原因になる。従って、施設野菜の塩類の集積地で加里の含量が高い時には、加里肥料の減肥は石灰の欠乏を防止する一つの方法だと思われる。

磷酸と加里肥料の減肥によって、サニーレタスとハウレンソウの栽培土壌でのpHを除外した全ての土壌の化学成分たちが減少する傾向を示し、これによって土壌の塩類蓄積の指標の土壌ECが減少した(表16)。

表16 磷酸と加里施肥量によるサニーレタス定植後30日とハウレンソウ播種後35日の土壌化学特性

| 作物     | N-P-K 施肥量<br>(kg/10 a) | pH<br>(1:5) | Av. P <sub>2</sub> O <sub>5</sub><br>(ppm) | EC<br>(dS/m) | Exch. cation (me/100g) |     |     | NO <sub>3</sub> -N<br>(ppm) | Cl <sup>-</sup><br>(ppm) |
|--------|------------------------|-------------|--|--------------|------------------------|-----|-----|-----------------------------|--------------------------|
|        |                        |             |  |              | K                      | Ca  | Mg  |                             |                          |
| サニーレタス | 22-18-18               | 6.4         | 1,406                                      | 2.4          | 0.64                   | 7.0 | 1.8 | 191                         | 126                      |
|        | 22- 3-18               | 6.5         | 1,316                                      | 1.9          | 0.60                   | 8.6 | 2.0 | 135                         | 123                      |
|        | 22- 3- 3               | 6.4         | 1,257                                      | 1.9          | 0.48                   | 6.0 | 1.8 | 138                         | 110                      |
| ハウレンソウ | 20-16-16               | 6.4         | 1,388                                      | 1.8          | 0.69                   | 6.2 | 1.7 | 154                         | 40                       |
|        | 20- 3-13               | 6.3         | 1,375                                      | 1.2          | 0.61                   | 6.4 | 1.8 | 133                         | 39                       |
|        | 20- 3- 3               | 6.3         | 1,277                                      | 1.0          | 0.42                   | 5.3 | 1.6 | 104                         | 38                       |

一方、土壌 EC に一番相関が高いものだと知られている  $\text{NO}_3^- - \text{N}$  の場合は処理区分しなくて、同量施肥されたことにもかわらず、燐酸と加里肥料の減肥区で多く減少した。先の植物体の吸収量の成績によると、吸収の増加によったものだと考えられるが、この結果に対しては、もっと検討が必要になると思われる。1991年度に  $\text{NO}_3^- - \text{N}$  242 ppm、AV.  $\text{P}_2\text{O}_5$  1,035 ppm、Ex-K 0.94 me/100g で塩類が蓄積された施設園芸地で、春菜に対する施肥の反応を見た結果、土壌検定の施肥と P、K の基本施肥の白菜収量は慣行施肥の時の白菜の収量と対等な収量を示したが、無肥区では慣行区に比べて減少された(表17)。

表17 N-P-K 施肥量による白菜とハウレンソウ収量と植物体養分含量

| 作物     | 処理      | N-P-K 施肥量<br>(kg/10 a) | 収量<br>(ton/10 a) | 収量指数<br>(%) | 植物体養分含量 (%) |                        |                      |      |      |
|--------|---------|------------------------|------------------|-------------|-------------|------------------------|----------------------|------|------|
|        |         |                        |                  |             | T-N         | $\text{P}_2\text{O}_5$ | $\text{K}_2\text{O}$ | CaO  | MgO  |
| 白菜     | 無肥      | 0-0-0                  | 9.78             | 70          | 2.60        | 1.70                   | 6.67                 | 2.98 | 0.45 |
|        | 慣行施肥    | 32-26-26               | 13.93            | 100         | 2.65        | 1.72                   | 7.76                 | 3.29 | 0.43 |
|        | 慣行0.5倍  | 16-13-13               | 13.88            | 99          | 2.57        | 1.73                   | 7.37                 | 3.19 | 0.49 |
|        | 土壌検定施肥  | 32-7-19                | 13.91            | 99          | 2.65        | 1.77                   | 7.67                 | 3.15 | 0.48 |
|        | PK 基本施肥 | 32-3-3                 | 13.64            | 98          | 2.72        | 1.74                   | 6.64                 | 3.16 | 0.49 |
| LSD 5% |         |                        | 0.61             |             |             |                        |                      |      |      |
| ハウレンソウ | 無肥      | 0-0-0                  | 3.00             | 142         | 3.48        | 1.43                   | 7.31                 | 1.53 | 1.08 |
|        | 慣行施肥    | 30-25-25               | 2.10             | 100         | 3.55        | 1.50                   | 7.65                 | 1.45 | 0.94 |
|        | 慣行0.5倍  | 15-13-13               | 2.25             | 107         | 3.50        | 1.51                   | 7.53                 | 1.44 | 1.12 |
|        | 土壌検定施肥  | 30-3-3                 | 3.30             | 156         | 3.53        | 1.50                   | 7.52                 | 1.41 | 1.05 |
| LSD 5% |         |                        | 0.15             |             |             |                        |                      |      |      |

試験の前に土壌の  $\text{NO}_3^- - \text{N}$  の含量 242 ppm は土壌の仮比重を 1.0 にして作土 15 cm を考慮すると、36 kg/10 a で白菜の植物体の吸収量の約 2 倍に該当する多量にもかわらず、無肥区の収量が施肥区に比べて減収される原因は、白菜の栽培の時に灌水を頻繁にするから、根圏の外に損失される量が多いからだが見えた。

一方、AV.  $\text{P}_2\text{O}_5$  940 ppm、Ex-K 1.0 meq/100g で燐酸と加里が非常に高い施設条件で栽培された秋のハウレンソウの収量は施肥量の減少によってむしろ増収された。土壌の検討によって燐酸及び加里の施肥量を各々 19 kg と 7 kg/10 a ずつ節減施用しても、慣行の施肥量に比べて 56% で一番多く増収され、無肥区では 42%、農家の慣行の半量を施肥し

た時には7%の少ない増収効果を見せた。この結果を見ると養分が過剰に蓄積された土壌では、土壌の検定によって施肥量を決定する方が作物生育に最も有利だと確認できた。

処理による白菜の養分の含量を見ると、T-NとP<sub>2</sub>O<sub>5</sub>は施肥量の間大きな差がなかったが、K<sub>2</sub>Oは無肥区及びP.Kの基本施肥量の処理で多少低くなる傾向だった。一方、1991年度ホウレンソウとサニーレタスの場合とは違って、K<sub>2</sub>Oの減肥によって拮抗関係にあるCaO及びMgOの含量は増加されていなかった。施肥量によるホウレンソウの養分の含量も白菜と同じ傾向だった。加里の施肥量の増加によって植物体の内に加里の含量が増加できなかった理由では、土壌の中に加里の含量がもう奢侈吸収のための限界濃度以上だったと考えられるが、これに対してはさらに検討が必要だと思われる。実際に土壌養分の含量を見ると、1990年ホウレンソウとサニーレタス圃場の置換性加里の含量が全て0.80meq/100gのことに比べて、1991年度の白菜とホウレンソウ圃場は置換性加里の含量が各々0.94と1.00meq/100gでより高く、置換性石灰と苦土の減量はより低かった。

試験後の土壌の化学性を見ると、白菜の栽培の試験では試験の前の土壌に比べて、全処理でEC、NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N、AV. P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>、EX-Kが低くなったが、慣行区のECは2dS/mより高く、まだ磷酸障害を受ける濃度だった(表18)。特にNO<sub>3</sub><sup>-</sup>-Nの減少の幅が多かったが、これは先に指摘したように灌水量が多くて溶脱されたことに起因したと見え、これによって無処理の収量が低くなった原因になったと見える。ホウレンソウの栽培の試験では、無肥区の外に施肥量の増加によって土壌ECが増加され、慣行区では3.3dS/mで塩類障害を受ける条件になった。一方、土壌検定の施肥の場合はECが2.0dS/mで臨界値の到達にとどまった。

表18 N-P-K施肥量による白菜とホウレンソウ栽培土壌の収穫後土壌化学特性

| 作物     | 処理        | N-P-K施肥量<br>(kg/10a) | pH<br>(1:5) | Av. P <sub>2</sub> O <sub>5</sub><br>(ppm) | Ex. cation (me/100g) |     |     | EC<br>(dS/M) | NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N<br>(ppm) |
|--------|-----------|----------------------|-------------|--|----------------------|-----|-----|--------------|--|
|        |           |                      |             |  | K                    | Ca  | Mg  |              |  |
| 白菜     | 無肥区       | 0-0-0                | 5.7         | 700  | 0.45                 | 6.0 | 1.2 | 0.6          | 15                                       |
|        | 慣行施肥区     | 32-26-26             | 5.4         | 884  | 0.76                 | 5.7 | 1.1 | 2.4          | 75                                       |
|        | 慣行施肥量0.5倍 | 16-13-13             | 5.5         | 881  | 0.59                 | 5.4 | 1.1 | 1.7          | 73                                       |
|        | 土壌検定施肥量   | 32-7-19              | 5.4         | 812  | 0.60                 | 5.8 | 1.2 | 1.6          | 56                                       |
|        | PK基本施肥量   | 32-3-3               | 5.4         | 817  | 0.53                 | 5.4 | 1.1 | 1.4          | 38                                       |
| ホウレンソウ | 無肥区       | 0-0-0                | 5.5         | 831  | 0.97                 | 4.8 | 1.1 | 1.3          | 50                                       |
|        | 慣行施肥区     | 20-25-25             | 5.6         | 1,043                                      | 1.25                 | 4.8 | 1.1 | 3.3          | 205                                      |
|        | 慣行施肥量0.5倍 | 15-13-13             | 5.5         | 928  | 1.22                 | 4.8 | 1.2 | 2.2          | 135                                      |
|        | 土壌検定施肥量   | 30-3-3               | 5.6         | 856  | 1.01                 | 4.9 | 1.0 | 2.0          | 133                                      |

b) 果菜類に対する効果

'92-'93年にかけて施設園芸の塩類の集積地で、トマトに対する化学肥料と鶏糞おがくず堆肥の施用量を異にして、収量の反応を見た結果は表19にある。

表19 1992年度と1993年度施肥量によるトマト収量と養分吸収量

| 年度   | 施 肥 量          |                  |                        | 収 量<br>(t/10 a) | 植物体養分吸収量(kg/10 a) |                               |                  |     |     |
|------|----------------|------------------|------------------------|-----------------|-------------------|-------------------------------|------------------|-----|-----|
|      | N<br>(kg/10 a) | K <sub>2</sub> O | 鶏糞おがくず堆肥<br>(ton/10 a) |                 | T-N               | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | K <sub>2</sub> O | CaO | MgO |
| 1992 | 0              | 0                | 0                      | 12.17A *        | 18                | 5.4                           | 44               | 21  | 6.2 |
|      | 0              | 0                | 4                      | 12.03A          | 18                | 5.8                           | 47               | 19  | 5.8 |
|      | 0              | 22.5             | 4                      | 11.46A          | 20                | 5.6                           | 43               | 19  | 6.4 |
|      | 15             | 22.5             | 4                      | 11.40A          | 17                | 5.5                           | 43               | 18  | 5.8 |
|      | 30             | 0                | 4                      | 10.94A          | 18                | 5.3                           | 44               | 15  | 4.9 |
|      | 30             | 11.3             | 4                      | 11.43A          | 17                | 5.5                           | 42               | 17  | 5.7 |
|      | 30             | 22.5             | 4                      | 11.43A          | 17                | 5.5                           | 43               | 17  | 5.6 |
|      | 30             | 33.8             | 4                      | 11.37A          | 17                | 5.6                           | 46               | 18  | 5.5 |
| 1993 | 0              | 0                | 0                      | 10.17A          | 16                | 9.2                           | 41               | 11  | 3.4 |
|      | 15             | 0                | 0                      | 9.47A           | 14                | 8.6                           | 35               | 11  | 3.2 |
|      | 30             | 0                | 0                      | 9.50A           | 14                | 9.3                           | 37               | 11  | 3.0 |
|      | 0              | 0                | 4                      | 9.67A           | 14                | 9.2                           | 38               | 10  | 3.3 |
|      | 0              | 0                | 8                      | 10.05A          | 15                | 10.0                          | 39               | 10  | 3.8 |
|      | 15             | 0                | 4                      | 9.87A           | 15                | 9.6                           | 39               | 11  | 3.3 |

\* DMRT 5%

トマトの収量は2年間の試験の結果、全て化学肥料と鶏糞おがくず堆肥の施用による増収の効果が認定されていなかった。統計的に有意性は認定されていなかったが、むしろ無肥区が一番収量が高い傾向だった。植物体の窒素の吸収量と加里の吸収量も収量と同じように処理の間の差が見えなかったが、これは試験の前に土壤のNO<sub>3</sub><sup>-</sup>-Nと置換性加里の含量が、もう適正水準を超過していたからだと見える。

土壤の中の窒素は形態の変化が多様で、根圏の下部への溶脱、大気中への揮散などによる損失を起こしやすいから、燐酸と加里とは違って土壤の検定による施肥処方が難しい元素だ。従って、一般的に特定地域での窒素の施肥量による、特定作物の収量の反応を通じて施肥量を決定するのが一般的な方法になってきた。

これは完全に経験的な方法だから、科学的な方法では窒素の収支 (Nitrogen balance) の計算による施肥量の決定方法が提案されて、さらに、最近では土壌-水分-植物の系内で窒素の行動に対する模型モデル化に対して多く研究されている。農業技術研究所では、窒素の施肥量の推薦の基準指標として土壌の中の O.M 含量を使用していて、その仮説で O.M 含量と T-N の含量は高度の関連があつて、T-N の無機化が窒素の供給の主な機作として見たが、郭などは土壌の中の  $\text{NO}_3^-$ -N 含量が白菜の収量と一番関連が高いと報告した。

加里の場合に使用される指標の  $\text{K}/\text{Ca}+\text{Mg}$  の塩基比は土壌と平行になる土壌の溶液の中の加里の活動とともに Ca 及び Mg と K の間の作物の吸収に対する拮抗作用を考慮したと考えられるが、土壌中の置換性の Ca と Mg の含量が増加すると  $\text{K}/\text{Ca}+\text{Mg}$  の塩基比は減少されて、加里が多量集積されている施設園芸地の場合にも相当量の加里肥料を施肥しなければならない場合が発生する矛盾が内包されている。一方、加里は吸収される元素で知らせているから、土壌中の置換性加里の含量が高い時に、Ca と Mg の K 吸収に対する拮抗効果は敢えて考慮しなくてもよいと思われるから、 $\text{K}/\text{Ca}+\text{Mg}$  の塩基比よりは K の含量だけで指標にするのが妥当だと思われる。現在は加里も窒素と同じように K の養分収支を計算して、適正施肥によって加里の奢侈吸収を減らすことができると報告されている。

### ③ 施設トマトの塩類蓄積地の窒素と加里に対する養分収支及びその他化学性の変化

#### a) 窒素と加里の養分収支

'92年度塩類が蓄積された施設トマトの農家圃場で、窒素と加里の養分収支を見ると、土深28cm 以内の損失量は植物体の吸収量に比べて、窒素は3-5倍、加里は1.5-3.5倍で多かった(表20)。

一方、'93年度に塩類が集積された施設トマトの農家圃場で土深20cm 間隔で、1 m まで土深別累積窒素の損失量を見た結果、大体土深60cm まで処理によって17-61kg で大きかった(表21)。これは土深60cm 内の  $\text{NO}_3^-$ -N が灌漑水によって溶脱され、下層土に集積されていたのを意味する。一方、土深100cm まで考慮する時の窒素の損失量も10-54kg に達して、地下水の汚染を起こす危険性が高いと見えた。

表20 施設トマト栽培時土深28cm内で施肥量による窒素と加里の養分収支

| 処 理            | 窒素収支 (kg/10 a) |        |     | 加里収支 (kg/10 a) |        |     |
|----------------|----------------|--------|-----|----------------|--------|-----|
|                | 植物体吸収量         | 土壌内残存量 | 損失量 | 植物体吸収量         | 土壌内残存量 | 損失量 |
| 無肥区            | 17             | 25     | 55  | 36             | 38     | 51  |
| 鶏糞おがくず         | 18             | 36     | 54  | 39             | 60     | 95  |
| 鶏糞おがくず+N0+K1   | 20             | 28     | 68  | 36             | 125    | 116 |
| 鶏糞おがくず+N0.5+K1 | 16             | 34     | 73  | 36             | 87     | 133 |
| 鶏糞おがくず+K1+N0   | 16             | 33     | 76  | 36             | 112    | 72  |
| 鶏糞おがくず+N1+K0.5 | 18             | 67     | 43  | 36             | 60     | 69  |
| 鶏糞おがくず+N1+K1   | 17             | 64     | 36  | 35             | 58     | 121 |
| 鶏糞おがくず+N1+K1.5 | 17             | 24     | 86  | 38             | 139    | 92  |

\* N1=N 30kg/10 a、K1=K<sub>2</sub>O22.5kg/10 a、鶏糞おがくず堆肥=4 ton/10 a

表21 施設トマト栽培時土深100cm内で施肥量による窒素損失量

| 処 理                              | 土 深 (cm)              |      |      |      |       |
|----------------------------------|-----------------------|------|------|------|-------|
|                                  | 0~20                  | 0~40 | 0~60 | 0~80 | 0~100 |
|                                  | ----- (kg/10 a) ----- |      |      |      |       |
| 無処理                              | -1                    | 14   | 17   | 13   | 10    |
| N15kg/10 a                       | 10                    | 33   | 48   | 53   | 54    |
| N30kg/10 a                       | 16                    | 45   | 61   | 54   | 42    |
| 鶏糞おがくず堆肥4ton/10 a                | 4                     | 9    | -2   | -27  | -49   |
| 鶏糞おがくず堆肥8ton/10 a                | 32                    | 58   | 61   | 40   | 13    |
| 鶏糞おがくず堆肥4ton/10 a<br>+N15kg/10 a | 22                    | 47   | 59   | 43   | 25    |

\* 窒素損失量 = (試験前土深別累積窒素量 + 窒素施肥量 + 鶏糞おがくず堆肥無機化量 + 灌漑水中供給量) - (試験後土深別累積窒素量 + 植物体吸収量)

Steenvoorden は硝酸態窒素の根圏下部、即ち、作物と土壌の特性によって違うが、50-150cm 下部への溶脱は地下水の汚染に大きく影響すると報告した。この理由で窒素の損失量の正確な予測で窒素の施肥効率を増大させ、地下水の汚染を防止するため、電

算モデルの開発が世界的に活発に進行している。

#### b) 窒素の行動

$\text{NO}_3^-$ -N の土層内の軽視的な変化を見ると、灌水時土壌内の水の移動による  $\text{NO}_3^-$ -N の下向移動で土層内で下層土への溶脱量が多かったが、トマトの収穫期の定植した84日以後には農家栽培法上灌水量が少なく、むしろ下層土から上層土への移動様相を見せた(図1)。

上で、 $\text{NO}_3^-$ -N の土壌内の軽視的な変化が主に水の移動によって生じたと言及したのは、 $\text{NO}_3^-$ -N と  $\text{Cl}^-$  の軽視的な土層別分布の形態が類似し(図2)、時期と処理に関係なく全体土壌の試料で  $\text{NO}_3^-$ -N と  $\text{Cl}^-$  の関係を見ると、高度の有意性がある1次回帰関係を見せたからだ(図3)。 $\text{Cl}^-$  イオンは土壌粒子との反応性が少なく、土壌内で生物学的及び化学的に安定された物質だから、土壌内の養分の移動を調査する時、一番単純な形態であると思われる。一方、 $\text{NO}_3^-$ -N イオンも  $\text{Cl}^-$  イオンのように土壌の粒子との反応性が少ないが、土壌内で生物学的で不安定だから、 $\text{Cl}^-$  イオンの土壌内の移動形態を観察して  $\text{NO}_3^-$ -N イオンの移動を予測している。

一方、図1から  $\text{NO}_3^-$ -N の軽視的な分布の形態が処理によって相当違うが、これは試験圃場内の土層の構造の空間の変異が大きいのが原因だと思う。従って、このような実験の場合には、これに対する対策がさらに必要だと思われる。

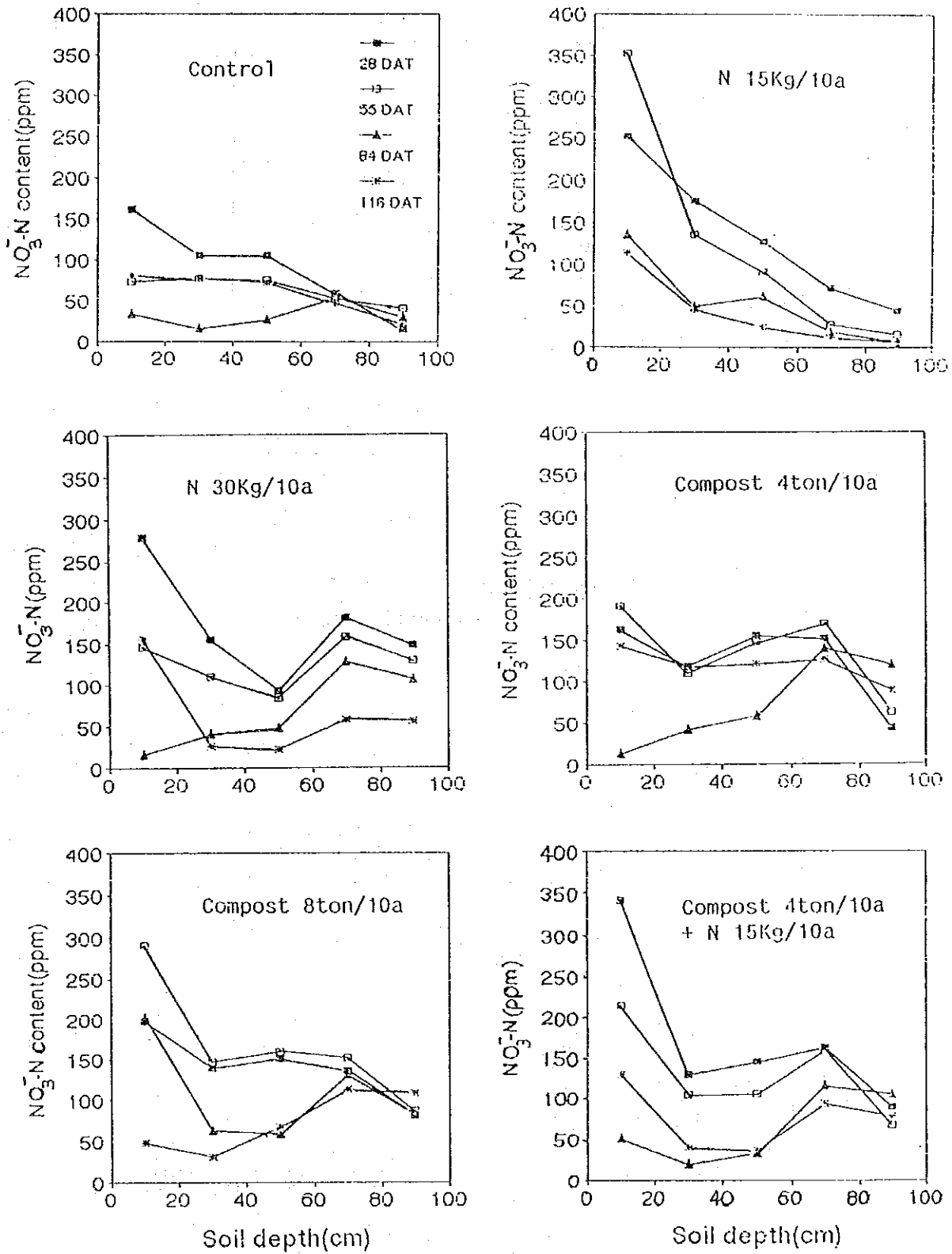


図1 処理別土壤中  $\text{NO}_3\text{-N}$  の経時的土深別分布  
 DAT: Days After Transplanting (定植後日数)



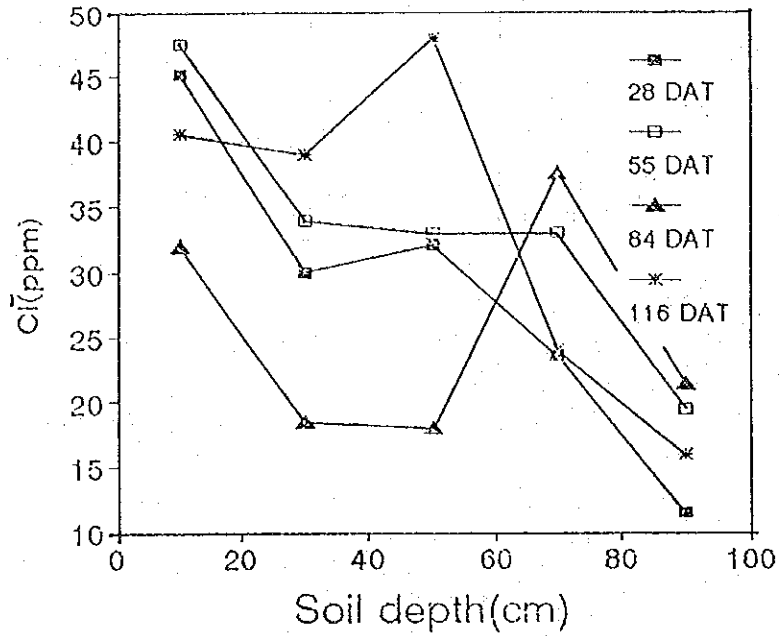


図2 対照区で土壤中 Cl 含量の経時的土深別分布  
DAT : Days After Transplanting (定植後日数)

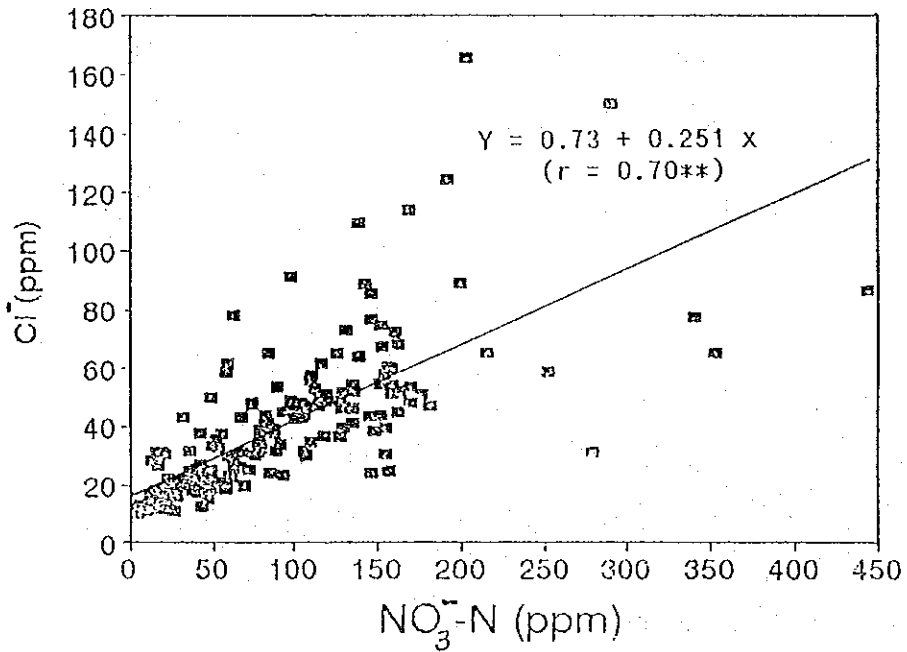


図3 全体土壤試料中の NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N 含量と Cl 含量との関係

c) その他土壌の化学成分の土層別軽視的な分布

土壌中の有効リン酸の含量は深土へいくほど少なくなったが、土深20-40cmの含量が570ppm程度で、土深40-60cmの含量が180ppm程度で、土深までにも多量の有効リン酸の含量を見せ、リン酸が土層内での移動が少ないという一般的な常識から外れているから、本実験圃場のようにリン酸の含量が高い土壌では、長期的にリン酸が土層下部に溶脱されると思われる。申等は Lancaster 法による有効リン酸(X)と水溶性リン酸(Y)は  $Y=0.0059X-13.701$  ( $r=0.812^{***}$ ) の関係があって、この式によって有効リン酸232ppm以上では土壌中に水溶性リン酸が存在し、降雨による溶脱で水質の汚染が予想されると報告した。一方、作物生育に適切な土壌の溶液中のリン酸の含量は0.3ppmで報告されていて、上の式を利用して土壌溶液中で0.3ppmを示される土壌中の有効リン酸の含量244ppm以上ではリン酸の施肥の効果が極めて少ないと言った(図4)。

土壌 pH は表土で高く、土深40-80cm 範囲で低くなって、80-100cm ではまた高くなった。土壌 pH は土壌の溶液の構成物質たちの総合によって決定されるから、この物質たちの溶脱及び上昇による土深内の分布が相異なる時、異なることがあるが、本実験ではその原因を証明することができなかった。土壌 EC は土壌の溶液内のイオンたちの総合によって決定され、先の  $\text{NO}_3^-$ -N と  $\text{Cl}^-$  の分布の形態と類似な傾向を見せ、李等の土壌 EC が  $\text{NO}_3^-$ -N 及び  $\text{Cl}^-$  と一番高い相関関係を持っていて、他のイオンたちより、このイオンたちが EC に一番多く影響するという結果と一致した。

置換性の陽イオンたちの含量は  $\text{NO}_3^-$ -N、 $\text{Cl}^-$ 、EC のように急激な変化は見せていないが、時間が経過するほど表土では少なくなって、心土へいくほど増加する傾向を見せた。

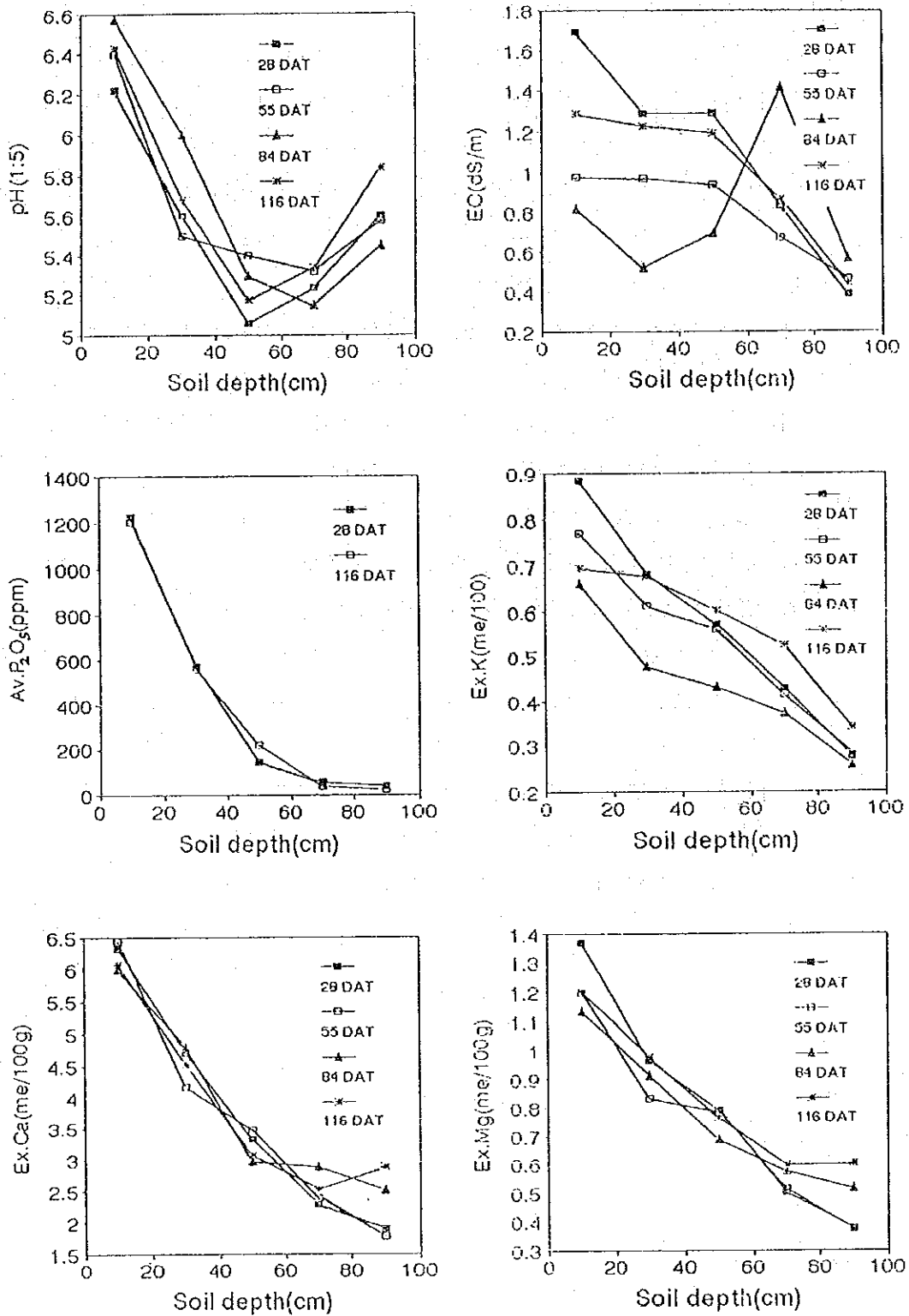


図4 対照区で土壌化学成分の経時的土深別分布  
 DAT : Days After Transplanting (定植後日数)

#### (4) 摘 要

畑転換した後多年間野菜が栽培されて、塩類が過剰蓄積された施設園芸地の問題点を解決するため、1989年から1993年まで5年間、室内実験と圃場試験を遂行した。施設園芸の農家の塩類の蓄積実態調査とともに、過剰蓄積された塩類を減少させる方法で、稲わら施用の効果、葉菜類と果菜類の栽培の時に、土壌検定を通じる減量施肥の効果等を検討する一方、環境問題を考慮して、窒素と加里の養分収支を検討し、その効果を要約すると次のようだ。

- 1) 全国の施設園芸地の土壌211地点を分析した結果、pHを除外した全体土壌の化学成分が、作物別土壌の化学性の適正な変異に比べて高いと表れ、その中で $\text{NO}_3^-$ -N、AV、 $\text{P}_2\text{O}_5$ 、Ex.-K、ECが各々262ppm、1,770ppm、1.28meq/100g、3.9dS/mで特に高かった。
- 2) 室内での恒温実験の結果、稲わらの施用は無施用に比べて土壌中の $\text{NO}_3^-$ -Nを大きく減少させ、塩類蓄積地の改良対策の一つになると見えた。
- 3) 葉菜類(白菜、サニーレタス、ハウレンソウ)と果菜類(トマト)とともに、塩類が蓄積された施設栽培地の圃場でN-P-Kに対する施肥の反応を見せなかった。無肥区で白菜は施肥区に比べて収量が減少したが、ハウレンソウとトマトの場合には、むしろ収量が増加された。
- 4) 土壌検定によるP、Kの節減施肥は、慣行施肥に比べて、土壌の塩類の蓄積を軽減させる効果を見せた。
- 5) 施設トマト圃場で土深28cmまで考慮すると、無機態窒素の損失量は植物体の吸収量に比べて3-5倍、Ex.-Kは1.5-3.5倍で大きかった。
- 6) 施設トマト圃場で1mまで20cm間隔で、深別累積窒素の損失量を計算した結果、 $\text{NO}_3^-$ -Nは土深60cm以下へも10-54kg/10aが溶脱された。

<文献省略>

JICA