

4. 農耕地における養分動態について

熊本県農業研究センター 久保 研 一

1. はじめに

環境保全型農業が推進されている。農業が環境に与える負荷を減らそうというだけでなく、そのことで持続的な生産を可能にしようとするものである。これを肥培管理面から見ると、資源の高度なりサイクルをはかり、地力培養など土壤の機能を重視した生産環境作りに基礎をおき、できるだけ過剰の養分供給をおさえた肥培管理で生産するシステムということが出来る。しかし、毎年の気象など栽培環境は一定でないことを考えると、過不足のない養分管理を実行し、高品質・安定収量を達成することは容易ではない。

2. 農耕地における養分実態

土壤保全対策事業の環境基礎調査の結果によれば、この15年間にいずれの地目においても窒素やリン、カリウム等の蓄積傾向が続いている。その一方で、表面的に収量に及ぼす影響の少ないと思われるケイ酸やカルシウムの減少等、養分間のアンバランスが拡大している。この結果を土壤診断基準と照らし合わせて見ると、pHは普通畑、施設畑、樹園地等で低い領域の割合が増加しており、逆に、交換性のカリウムはこれらの3つの地目では半数以上が過剰状態となっている。また、肥料に依存する割合の高い可給態リン酸は樹園地や施設畑で特に高い傾向がうかがえるが、その他の地目でも適正基準値内にあるものの、確実に増加傾向が続いている。この傾向は表層で著しいが、次層にも拡大している。

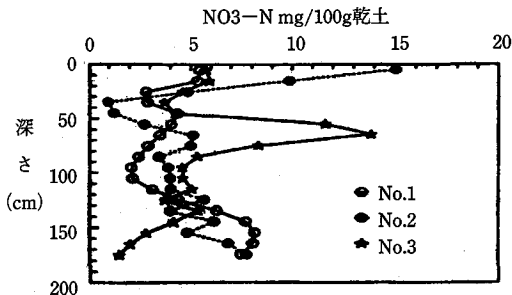
第1表 熊本県における耕地土壤の化学性の頻度分布

| 地目 | 調査時期 | pH (H2O) | | | 可給態P205mg | | | 交換性K meq | | | 塩基飽和度% | | | Mg/K 当量比 | | |
|-----|---------|----------|------------|-------------|--------------|----|-----|-----------------|----|------|--------------|----|-----|-----------|----|----|
| | | <5 <6 | 5-6 6-7 | >6* >7** | <10 10-50 | | >50 | <0.4 0.4-1.0 | | >1.0 | <50 50-80 | | >80 | <2 2-5 | | >5 |
| 水田 | 1979-83 | 3 | 47 | 50 | 35 | 60 | 5 | 35 | 49 | 16 | 31 | 55 | 14 | 18 | 47 | 37 |
| | 1984-88 | 3 | 51 | 46 | 41 | 54 | 5 | 31 | 55 | 14 | 16 | 67 | 17 | 13 | 49 | 38 |
| | 1989-93 | 8 | 54 | 38 | 26 | 58 | 16 | 29 | 51 | 20 | 31 | 54 | 15 | 15 | 49 | 36 |
| 畑 | 1979-83 | 35 | 53 | 12 | 49 | 34 | 17 | 16 | 30 | 54 | 43 | 38 | 19 | 72 | 22 | 6 |
| | 1984-88 | 32 | 61 | 7 | 51 | 28 | 21 | 16 | 33 | 51 | 34 | 36 | 30 | 50 | 43 | 7 |
| | 1989-93 | 54 | 42 | 3 | 34 | 32 | 34 | 18 | 25 | 57 | 44 | 41 | 15 | 57 | 36 | 7 |
| 樹園地 | 1979-83 | 32 | 33 | 35 | 9 | 26 | 65 | 3 | 21 | 76 | 11 | 28 | 61 | 60 | 33 | 7 |
| | 1984-88 | 39 | 42 | 19 | 4 | 15 | 81 | 1 | 22 | 77 | 17 | 26 | 57 | 65 | 29 | 6 |
| | 1989-93 | 50 | 37 | 13 | 1 | 12 | 87 | 0 | 33 | 67 | 19 | 33 | 48 | 62 | 31 | 9 |
| 施設畑 | 1979-83 | 31 | 63 | 6 | 19 | 47 | 34 | 3 | 31 | 66 | 16 | 50 | 34 | 56 | 31 | 13 |
| | 1984-88 | 19 | 75 | 6 | 15 | 47 | 38 | 3 | 19 | 78 | 9 | 34 | 57 | 19 | 69 | 13 |
| | 1989-93 | 55 | 42 | 3 | 13 | 35 | 52 | 3 | 23 | 74 | 13 | 68 | 13 | 38 | 52 | 10 |

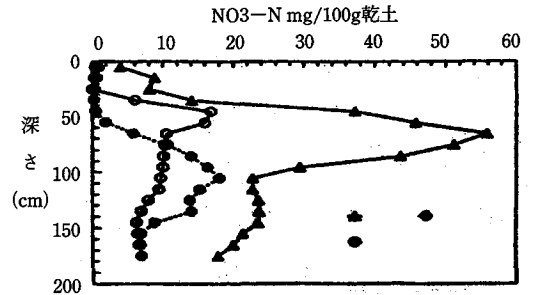
注) *:水田, **:その他

また、近年、各地で地下水中の硝酸態窒素濃度が上昇し飲用水基準を越えていることが明らかにされ、その汚染源の一つとして施肥が上げられている。汚染のメカニズムについてはさらに詳細な検討が必要だが、栽培体系の異なる農耕地土壤について表層下2mの範囲で硝酸態窒素の分布を調査した結果によれば、いずれの圃

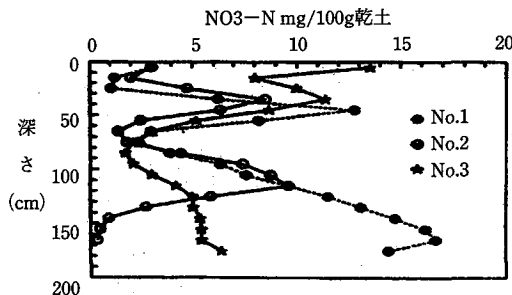
場でも下層に硝酸態窒素濃度の高い土層が存在している。そして、その位置や濃度は地上での栽培体系で変化している。すなわち、年間を通して施設野菜栽培を繰り返してきた圃場では100g乾土当たり5mgN前後と比較的低い濃度の硝酸態窒素が下層まで存在しているが、明確なピークは認められない。次に、施設野菜と露地野菜の栽培が行われてきた圃場では100cm～150cmにブロードなピークが認められ、その濃度も20mg以上と高い。さらに、露地野菜の栽培が行われてきた圃場では、50cmと100～150cmの2つの土層に硝酸態窒素濃度の高まりが認められ、その濃度も10～15mgと比較的高い。一方、施設野菜と水稻の組み合わせで栽培されてきた圃場では、水稻栽培後の調査であるため表層に硝酸態窒素の存在はないが、クリアーなピークが100～150cmの下層に認められる。しかし、その濃度は低く、年間の窒素投入量が露地野菜連作圃場と変わらないことを考えると、利用率の差もさることながら、180cmより下層への溶脱、あるいは脱窒の作用が大きいものと思われる。



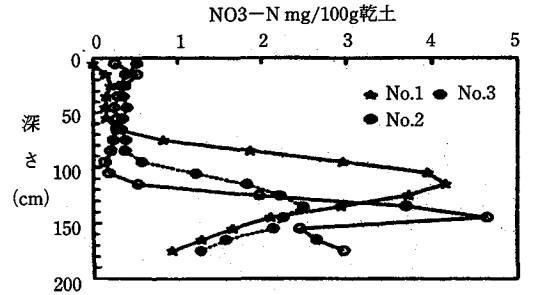
第1図 硝酸態窒素の土壌断面内分布
栽培体系：施設野菜—施設野菜



第2図 硝酸態窒素の土壌断面内分布
栽培体系：施設野菜—露地野菜



第3図 硝酸態窒素の土壌断面内分布
栽培体系：露地野菜—露地野菜



第4図 硝酸態窒素の土壌断面内分布
栽培体系：施設野菜—水稻

3. 施肥と養分利用率

では、硝酸態窒素が残存する理由は単に過剰施肥と考えてよいのであろうか？施肥養分の過剰問題で第一に取り上げられる野菜について考えてみる。一言に野菜といってもその種類は多く、その全てが栄養生長→生殖生長→成熟という過程を経て収穫されるものとは限らない。利用する者によっていろいろな生育ステージで収穫されており、次の様に分類される。これは施肥の原理をよく表現するものでもある。栄養生長型の作物は収穫時にも旺盛な養分吸収が持続しており十分な養分の供給を必要とする。また、栄養生長・生殖生長同時進行型作物では終始安定した肥効が適する。さらに、栄養生長・生殖生長転換型でメリハリの効いた施肥管理が必要とされ、完全転換型では収穫期に過剰の養分が残っていると、品質の低下や障害を引き起こす可能性がある。したがって、栄養生長型作物の栽培跡地にはかなりの養分が残存することは、ある意味では仕方がない。観点を変えて見ると、露地作物では施設栽培に比べて降雨による溶脱を受けやすく、施肥養分の利用率が低くなりやすいなど、栽培形態も大きく影響していると考えられる。事実、施肥量と吸収量を比較すると葉菜類の露地栽培で差が大きくなっていることがうかがえる。また、九州では冬春期も温暖である地域が多く、作付け回

数が多い。したがって、単位面積当たりの年間養分投入量は大きい値とならざるをえない。これらの施肥養分が土壌に残存し溶脱するとすれば、環境負荷の問題としても深刻である。つまり、「九州地域では環境負荷軽減対策としての養分管理対策の重要性が高い」といえる。

さらに、野菜では養分吸収性に特徴がある。いくつかの野菜について窒素施肥量の増加にともなう吸収量の変化を示すと次のようになる。野菜の場合、施肥量を増やすとある程度までは収穫量が増加し最高収量となるが、それ以後次第に低下していく。イネ科作物では最高収量に到達した後、施肥を増加しても収量は減少しないものの増加をもたらしにくい状態が続く。これは根系の発達程度の差によるもので、野菜では根の濃度障害が早い段階で生じるためと考えられる。このことは施肥養分の利用率にも反映され、野菜ではかなり低いレベルでも施肥の増加にともない利用率は低下していく。

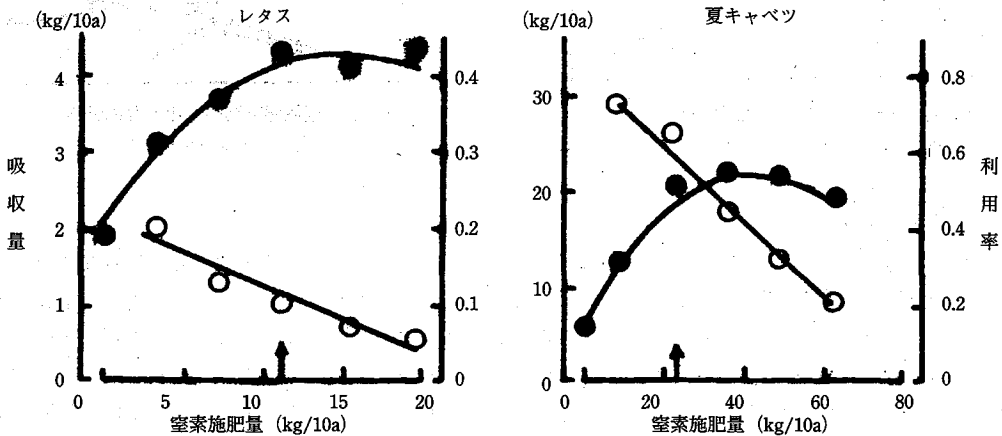
第2表 作物の収穫時の生育相による分類

- A. 栄養生長型・・・ホウレンソウ、リーフレタス
- B. 栄養生長・生殖生長同時進行型
 - 1) 未熟型・・・キュウリ、ピーマン、ナス
 - 2) 成熟型・・・トマト、イチゴ
- C. 栄養生長生殖生長転換型
 - 1) 不完全転換型
 - 結球型・・・キャベツ、ハクサイ、結球レタス
 - 根系肥大型・・・ダイコン、ニンジン
 - 2) 完全転換型・・・イネ、メロン、スイートコーン

第3表 熊本県における主要作物の施肥量と養分吸収量

| 作物名 | 施肥量 KgN/10a | 吸収量 KgN/10a | 作物名 | 施肥量 KgN/10a | 吸収量 KgN/10a |
|--------|----------------|----------------|------|----------------|----------------|
| ホウレンソウ | 20~25 | 8 | キャベツ | 12+12 | 20 |
| リーフレタス | 20~25 | 8 | ハクサイ | 15+5 | 16 |
| ピーマン | 30+20 | 45 | ダイコン | 10+4 | 11 |
| ナス | 25+35 | | ニンジン | 10+4 | 9 |
| トマト | 10+20 | 25 | イネ | 4+5 | 12~14 |
| イチゴ | 14+10 | | メロン | 12 | 10 |

(施肥量の表示：基肥+追肥)



第5図 養分吸収量と利用率の関係 (↑は最高収量)

一方、栽培現場で認められるもう一つの要因としては、土作り資材として堆きゅう肥の施用が施肥基準において養分の供給源と考えられていない場合が多いことが上げられる。しかも、土作り資材が養分濃度の高いきゅう肥に近いものになりつつあり、これらは基準を越えた養分供給のかくれた推進者となっている。

4. 有機物分解の特徴と合理的利用

では、いかに養分供給を適正に行い、土壤管理を徹底するかが重要になるが、環境保全型農業で資源のリサイクルをすすめるということをあわせて考えれば、有機物の合理的な利用が養分管理技術の一つの柱となる。確かに、栽培現場でも「環境にやさしい肥料」ということで、堆きゅう肥や有機質資材の積極的な利用がすすめられ、地力培養の重要性が認識されつつある。また、ピーマンの夏秋栽培のような長期間にわたるものでは、施肥養分に比べ土壌や堆肥から供給された養分の吸収の優位性を示す結果も得られている。しかし、有機物といっても種々様々なものが存在し利用されており様ではない。現在要求されている品質性、収量性を確保するためにはより高度な技術、詳細な知見に基づく技術が必要とされる。

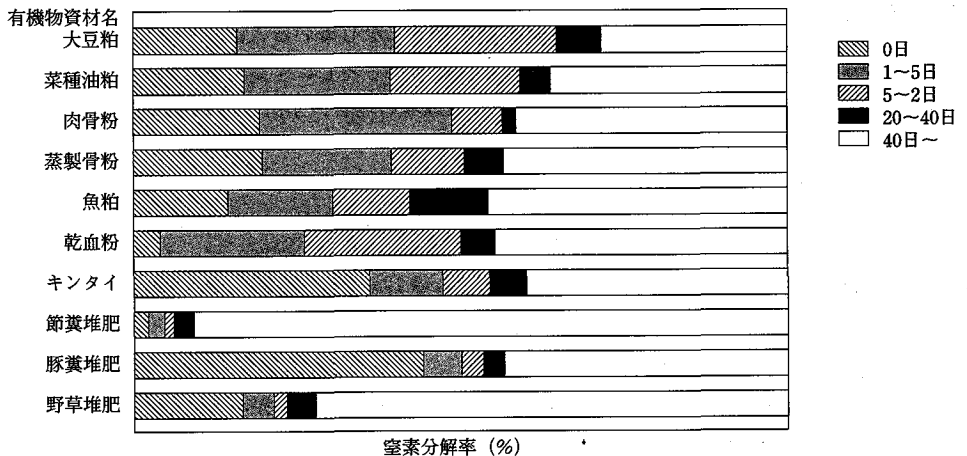
まず作物の生育にともなう養分要求性と有機物からの供給との調整の問題である。現在使用されていることの多い各種の有機質資材について窒素の供給様式を調べてみた結果は次のことを示している。一般に、有機物からの窒素の供給は地温の高まりとともに増加する

第4表 ピーマン夏秋栽培における窒素吸収量と給源

| | 6/30 | 8/10 | 9/30 |
|--------|-----------|------------|------------|
| 総窒素吸収量 | 7.0 (100) | 17.5 (100) | 34.7 (100) |
| 肥料由来窒素 | 3.2 (46) | 7.2 (41) | 10.3 (30) |
| 土壌由来窒素 | 2.8 (40) | 7.7 (44) | 18.4 (53) |
| 堆肥由来窒素 | 1.0 (14) | 2.6 (15) | 6.1 (17) |

大分県農技セ (1993)

が、さらに詳しく比較してみると資材によりかなり異なっており、窒素の供給力では大豆粕、菜種粕、肉骨粉などが高く堆肥は低い。施用後1か月内に無機化してくる窒素の割合は大豆粕、菜種粕、菌体肥料、豚糞堆肥等で高い。その窒素の効き方も、当初から無機態窒素をかなり含有している菌体肥料や豚糞堆肥に対し、初期から肥効が持続的に現れるのが大豆粕、菜種粕、骨粉類、次いで、魚粕、血粉、菌体であった。逆に、土壌に残存する割合の高いのが牛糞堆肥、野草堆肥であるが、堆肥の中では豚糞堆肥は比較的分解が速い。このように有機質資材には様々な窒素供給様式のものがあり、供給量は地温の推移によって左右されるため、施用する作物、作型によって選択することが重要である。次に、野菜栽培はどこまで有機物施肥に依存できるか考えてみるため、数種の野菜について、生育にともなう窒素吸収の推移、現行施肥法での窒素供給、さらに、牛糞堆肥あるいは菜種油粕のみで全吸収窒素量をまかなうとした場合の窒素供給の推移を比較し、必要な有機物量を試算してみると、春レタス、秋キャベツ、夏秋雨よけトマト、抑制メロンで、牛糞堆肥の場合、それぞれアール当たり1.1t, 4.0t, 4.4t, 2.5t, また、菜種油粕では同様に、9kg, 53kg, 91kg, 49kg となり、現実的な量ではない。ちなみに、慣行的な有機物の施用量、牛糞堆肥 200kg/a, 菜種油粕 20kg/a はメロンの窒素施肥のそれぞれ 12%, 43%, トマトの7%, 23% に相当する計算になる。



第6図 有機物資材の窒素分解率 (温度30°C)

第5表 各有機物資材の窒素分解特性値¹⁾

| 資材名 | 全窒素 含 量 % | 窒素分解特性値 | | | 定 数 |
|--------------------|--------------------|--------------------------|---------------------------|-----------------------------|------|
| | | 易分解性 窒素量 Mg/100g乾物 | 分解速度 day ⁻¹ | 分解の活性化 エネルギー cal/mole | |
| 大豆粕 | 7.5 | 97.8 | 0.179 | 14570 | -1.2 |
| 菜種油粕 | 5.9 | 84.1 | 0.158 | 16490 | 0.1 |
| 肉骨粉 | 7.6 | 82.2 | 0.127 | 19020 | 22.5 |
| 蒸製骨粉 | 4.3 | 70.1 | 0.203 | 21600 | 6.7 |
| 魚粕 | 4.3 | 65.9 | 0.075 | 14720 | 0.3 |
| 乾血粉 | 13.6 | 79.6 | 0.071 | 27500 | 1.6 |
| キンタイ | 7.7 | 37.9 | 0.076 | 20140 | 65.4 |
| 牛糞堆肥 ²⁾ | 1.4 | 6.6 | 0.007 | 22710 | 1.2 |
| 豚糞堆肥 | 2.0 | 8.6 | 0.020 | 17430 | 19.2 |
| 野草堆肥 ³⁾ | 0.6 | 15.3 | 0.004 | 22770 | 5.7 |

注1) 乾土100gに対して窒素150mg相当量の資材を供試した

2) 牛糞堆肥はおがくず入り牛糞堆肥である

3) 野草堆肥はカヤを材料として堆積発酵させたものである

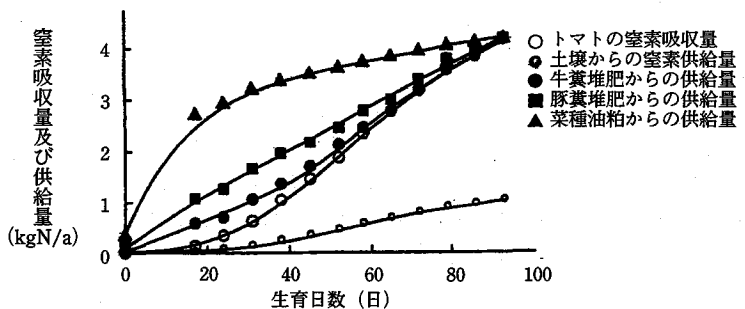
次に、窒素とカリウム等養分間の供給バランスを検討することが重要である。有機物からの窒素発現は栽培期間を3か月とした場合、全窒素成分の80～30%程度と推定され、堆肥ではかなり低い。ここから次の問題が発生してくる。作物が吸収するそれぞれの養分の間には固有の割合がある。一方、施用される有機物にも含有する養

分にほぼ一定の割合があり、それを比較してみるとかなり似通ったものがある。しかし、前述のように窒素の発現量はかなり低いため、窒素の供給を有機物に依存する割合が高まるほど投入量が増え、陽イオン類などその他の養分が過剰となる。したがって、堆肥から供給される窒素を施肥から差し引いて調整したとしてもカリウム等の陽イオン類は蓄積してくる。以前、家畜糞尿の多投入による土作りを実践した結果カリウムが集積した経験を持つ方もあると思われるが、多投入でうまく作りこなしている人は雨ざらしの堆肥を用いたり何らかの工夫がなされているものである。近年では、堆肥を雨ざらしにする場所も限られ、また、その方法も環境保全上問題とされる。連用試験の結果では、果菜類栽培の場合、年間5t/10aを越える牛糞堆肥が施用されるとカリウムの蓄積が始まる様である。

このように有機質資材といえども、施用する量や養分の供給様式、あるいは、養分バランス等を調整する必要があり、各種有機質資材のブレンド、堆肥作りにおける原材料の配合を考えることが重要である。そして、有機物施肥で化学肥料同様のメリハリを効かすには、有機物の分解を制御している要因、すなわち、地温と土壤水分の制御を作物の生育反応に合わせてうまく行う必要がある。

5. 効率的吸収による施肥量削減

現行の施肥量を再検討し、現場で実践する場合、いくつかのステップが必要である。第1は現行の肥培管理法の中での改善、次に、資材や肥培管理法の変更をとまうより負荷の小さい方法の開発と切り替え、さらに、栽培体系を通した養分管理システムの実現である。そして、安定した作物の生育を保障するための合理的な養



第7図 トマトにおける有機質資材施用に関する試算

第6表 作物及び有機物中の養分比

| | N | K ₂ O | CaO | MgO |
|--------------|-----|------------------|-----|-----|
| 吸収量における割合 | | | | |
| トマト | 100 | 55 | 40 | 13 |
| メロン | 100 | 79 | 114 | 26 |
| イチゴ | 100 | 38 | 9 | 10 |
| 有機物中の割合 | | | | |
| 牛糞堆肥 | 100 | 56 | 36 | 36 |
| 豚糞堆肥 | 100 | 16 | 107 | 31 |
| 有効化窒素量に対する割合 | | | | |
| 牛糞堆肥 | 100 | 557 | 356 | 361 |
| 豚糞堆肥 | 100 | 31 | 215 | 61 |

第7表 有機物連用によるトマト3作後の土壤養分状態

| | T-C % | T-N % | EXCHANGEABLE | | | AVAILABLE | |
|------------|--------------|----------|--------------|------------------|-----|------------------|------|
| | | | CaO | K ₂ O | MgO | P ₂₀₅ | N |
| | —mg/100g 乾燥— | | | | | | |
| 化学肥料単用 | 1.14 | 0.13 | 313 | 154 | 56 | 23 | 1.1 |
| 牛糞堆肥5t施用 | 1.72 | 0.14 | 424 | 147 | 126 | 154 | 2.8 |
| 牛糞堆肥10t施用 | 4.17 | 0.33 | 519 | 401 | 166 | 253 | 4.7 |
| 稲わら堆肥5t施用 | 2.59 | 0.21 | 539 | 273 | 88 | 72 | 6.8 |
| 稲わら堆肥10t施用 | 3.54 | 0.29 | 649 | 316 | 105 | 101 | 14.3 |

長崎県総農林試 (1994)

分供給のしくみを工夫することが重要と考えられる。いくつか現実的な項目から上げてみると、1) 地力の活用：一般に、土壤からの養分供給力は作物残さや堆肥など有機物の施用により高まり、その利用率は高い。したがって、施肥量の調整は地力レベルに応じて行われることが望ましい。地力増進作物等の作付けと鋤込みは前作の残存養分の活用、有機物の土壤還元、さらに、養分の溶脱防止の観点からも有効と考えられる。しかし、「地力は高ければ高いほどよいか？」という命題も考えなければならない。生殖生長完全転換型作物では収穫期に近づくにつれ養分の供給は必要ない。地温の上昇による養分供給は時として生理障害発生の引き金となる。2) 局所施肥：根系が貧弱で栽植密度も高くない作物では全面全層施肥は合理的ではなく、溝施肥、条施肥、植穴施肥等の局所施肥を行うことにより施肥養分利用率の向上がはかれる。特に、作物の養分吸収は根系分布と一致せず、表層より深い部分から比較的多くの養分が吸収されていることがある。したがって、養分供給も吸収利用しやすい部分に行くことが効果的である。これらの方法により施肥削減が可能になるとともに土壤残存養分量も減少する。この際、肥効調節型肥料やほかし肥料は根の近くに施肥することができる。3) 2作1回施肥：本来は施肥の省力化をねらった栽培法であるが、マルチを利用し、栽培作物の組み合わせや栽培時期、施肥資材の肥効期間等を調節すれば3割程度の減肥を行っても遜色ない収穫が期待できる。4) 年間施肥基準：従来の1作物当たりの施肥基準設定ではどうしても前作物の残肥を無視しがちである。毎作後、土壤診断が行われるところはよいが、作付けを考慮した複数作物について通しの施肥基準設定はいっそう確実である。5) その他：積極的な地温制御技術や養液施肥等も効率的な養分供給に有効と思われるが、この場合、栽培管理そのものも従来の概念とは変えねばならない。

第8表 条施肥によるトマトの施肥削減

| 処 理 | 収量指数 | 窒素吸収量 kg/10a | 窒素供給量 kg/10a | 利用率 % |
|------------|------|-----------------|-----------------|----------|
| 化成肥料・標準施肥 | 100 | 21.6 | 30.0 | 72 |
| ” ・3割減肥条施 | 104 | 25.4 | 24.6 | 103 |
| 緩効性肥料・標準施肥 | 100 | 21.5 | 30.0 | 72 |
| ” ・3割減肥条施 | 114 | 23.9 | 24.6 | 97 |
| 有機質肥料・標準施肥 | 100 | 23.1 | 30.0 | 77 |
| ” ・3割減肥条施 | 108 | 26.1 | 24.6 | 106 |

長崎県総農林試 (1994)

6. おわりに

環境調和型養分管理技術は、圃場の地力評価、栽培地の気象・土壤・作型等の生産環境、そして、何よりもまして栽培作物の特性を勘案して有効と思われる技術を総合化したものでなければならない。したがって、栽培地ごとにいろんな技術メニューから適切なものを選択し総合化することによって特徴ある地域 VERSION を組み立てる必要がある。