

## 伊予柑園における肥効調節型肥料を利用した環境負荷軽減

愛媛県立果樹試験場 生産環境室

主任研究員 石 川 啓

### はじめに

近年、環境への関心が非常に高くなってきており、農業分野においても農薬問題とともに施肥窒素による地下水汚染が全国的に大きな社会問題となっている。本県においては、1970年代に松山平野及び忽那諸島（松山市北西部の島しょ部）を対象とした大規模な地下水調査が実施されており、硝酸態窒素濃度が10 mg/Lを越える地点は、松山平野全域では約10%に留まるが、松山市北部地域に限定すれば約25%に達し、忽那諸島では40%にも及ぶことが報告されている<sup>12) 16)</sup>。この松山市北部地域及び忽那諸島の地質は、大部分が保肥性の低い花崗岩を母材とする砂質土ないし砂壤土地帯であり、調査当時は温州ミカン栽培の盛んな地域であったことから、ミカン園への施肥窒素が地下水汚染の一因になっていた可能性が大きいことが指摘されている<sup>12) 16)</sup>。

現在、本県の中晩柑を代表する宮内伊予柑は、1970年代から80年代にかけて温州ミカンの更新樹種として急激に栽培面積が増加し、前述の調査地域も含め、施肥窒素の溶脱しやすい花崗岩を母材とする土壌地帯で本県栽培面積の約65%程度が栽培されている<sup>4)</sup>。本種は豊産性であるが着花過多になりやすいため樹勢低下を招くことが多く、しかも大玉果生産が目標とされていることから、基準の施肥窒素量は温州ミカンに比べると1.3~1.6倍とかなり多く設定されている<sup>3)</sup>。そのため、これらの地域では以前にも増して、本種栽培園からの溶脱窒素による地下水への負荷が懸念されている。

このような状況から、著者は宮内伊予柑栽培における施肥効率の向上と省力化及び環境負荷軽減を図るため、精密な溶出コントロール性能を有し、利用率の向上が期待できる肥効調節型肥料（被覆

肥料)<sup>6) 8)</sup>を利用した年2回施肥法について、1995年度から場内圃場において試験を実施している（試験結果の一部は本誌1999年12月号及び2001年10月号で紹介）。

さらに、それと平行して、1998年度~2000年度にかけて肥効調節型肥料を利用した環境負荷軽減についての現地実証試験を実施し、若干の知見が得られたので今回紹介する。

### 試験の概要

1998年3月から2001年2月までの3年間、松山市北西部の宮内伊予柑園（花崗岩を母材とする砂壤土）において肥効調節型肥料区（実証区）及び化成肥料区（対照区）を設定した。肥効調節型肥料は被覆燐硝安加里（N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O=14-12-14%）を供試し、対照の化成肥料は燐硝安加里化成（N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O=16-10-14%）を用いた。供試園は傾斜25~30度の山なり園であり、試験開始時の樹齢27年生、栽植本数約140樹/10aであった。各試験区の規模は約10aとした。試験期間中の両区の窒素施用時期及び量は表1に示すとおりとした。

表1. 現地試験の窒素施用時期及び施用量

(単価: kg/10a)

試験区	年間窒素施用量	3/上	6/下	8/下	11/上
肥効調節型肥料区	25	14		11	
化成肥料(対照)区	32	9	9	7	7

肥効調節型肥料は、3月施用時にはリニア型40日溶出タイプとシグモイド型のものを等量混和し施用した。3月施用のシグモイド型は、1998年には140日タイプ、1999年は100日タイプ、2000年は70日溶出タイプを用いた。8月施用時はいずれの年もリニア型40日溶出タイプとシグモイド型100日溶出タイプを施用した。肥効調節型肥料区の施肥窒素量は、利用率の向上が期待できるため化成肥

料区の80%とし、対照の化成肥料区は本県施肥基準量とした。施肥方法は両区とも地表面への全面施用とした。

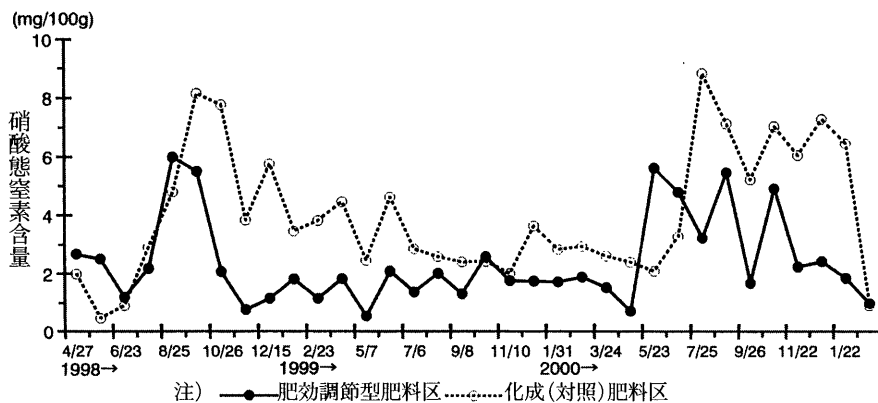
調査は、1998年4月から2001年2月まで土壌中及び土壌水中の硝酸態窒素濃度を約1カ月間隔で測定した。土壌は各区5カ所から10cm層及び30cm層に分けて採取し、採取位置は樹幹外周部の直下とした。土壌水は各区8カ所から土壌溶液採取器(大起理化製)を用い、地表下1mの深さの土層から採取した。

各区から樹勢の中庸な樹を5樹選び、毎年5月から10月にかけて約1カ月間隔で樹冠赤道部の不着果新梢から新葉を30葉採取し、葉中窒素濃度と葉色値(MINOLTA製SPAD-502使用)を測定した。また、12月上旬の収穫時に収量調査を行い、12月下旬には定法に従って果実分析を実施した。

・6月及び12月に含量の増加がみられた。試験開始3年目の2000年は、7月になると急激に増加してピークを迎え、それ以降の減少は比較的少なく、1月まで高レベルで推移した。肥効調節型肥料区は、試験期間中概ね化成肥料区と類似した増減パターンを示したが、1998年の4月から6月及び8月、1999年の10月、2000年の5・6月以外は化成肥料区に比べ低く推移し、その差は化成肥料区の含量が高かった1998年の10月以降及び2000年の7月以降に大きかった。

30cm層の窒素含量は、化成肥料区、肥効調節型肥料区ともに一部の時期を除くと10cm層と類似した増減パターンを示した。10cm層と窒素含量の高低を比較すると、1998年の8・9月及び2000年の7月以降のように含量がかなり高まった時期は30cm層の方が低い傾向が認められたが、全体的に含量が低かった1999年はほとんど差がみられず、むしろ30cm層の方が高い場合もあった。また、肥効調節型肥料区と化成肥料区の含量を比較すると、1998年の6月及び2000年の5・6月以外は常に肥効調節型肥料区の方が低く推移した(図2)。

図1. 肥効調節型肥料が土壌中の硝酸態窒素含量に及ぼす影響(10cm層)

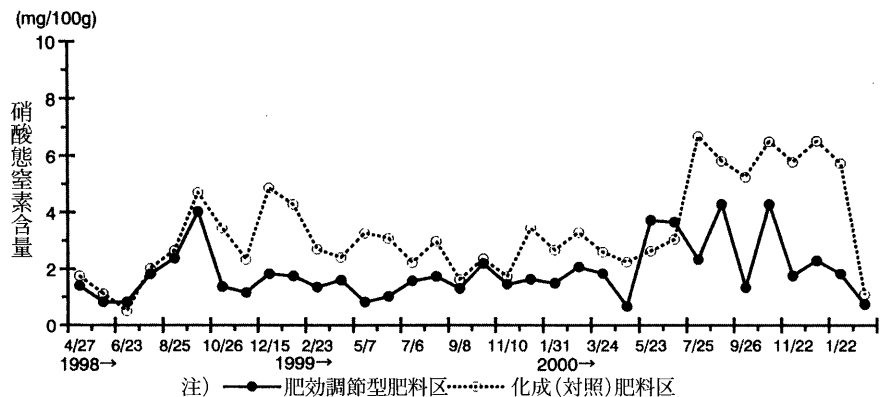


試験結果

(1) 土壌中の硝酸態窒素含量の推移

供試園における地表下10cm層の土壌中の硝酸態窒素含量の推移を図1に示した。化成肥料区では、試験開始年の1998年は7月までは低く推移したが、8月から急激に増加し、9・10月にピークを迎えた。1999年は全体的に低く推移し大きなピークは現れなかったが、4月

図2. 肥効調節型肥料が土壌中の硝酸態窒素含量に及ぼす影響(30cm層)



(2) 土壌水中の硝酸態窒素濃度の推移

地表下1mの深さの土層から採取した土壌水中の硝酸態窒素濃度については、1998年の4月から10月までの期間は化成肥料区と肥効調節型肥料区の差が比較的少なく、化成肥料区の方がやや高い傾向であった。しかし、化成肥料区の濃度はその後急速に高まり、1999年の5月から7月の間は100mg/Lを超過した。その後、やや減少して1999年の8月から3月にかけては70~80mg/L前後で推移したが、2000年の4月以降は再び急増しピークの10・11月には150~160mg/Lにまで達した。

一方、肥効調節型肥料区の濃度は、1998年の10月から2001年2月の試験終了時まで常に化成肥料区より低く推移した。また、肥効調節型肥料区の増減パターンは化成肥料区に比べて緩やかであり、時期や年次間差が少なかったため、化成肥料区と

の濃度差は年次とともに広がった(図3)。

化成肥料区の年平均濃度は、1998年度61mg/L、1999年度86mg/L、2000年度133mg/Lであり、肥効調節型肥料区は1998年度46mg/L、1999年度43mg/L、2000年度51mg/Lであった。また、3カ年の平均濃度は化成肥料区99mg/L、肥効調節型肥料区51mg/Lとなった。

(3) 葉中窒素濃度及び葉色

1998年の5月から10月にかけての葉中窒素濃度は、6月は肥効調節型肥料区が高く、9月は化成肥料区が高かったが、その他の時期は両区に差異がみられなかった(図4)。1999年は、6月から8月の間は両区に差がみられなかったが、9月は肥効調節型肥料区が、10月は化成肥料区がやや高かった(図5)。2000年は、6月以降になると肥効調節型肥料区が常に高く推移した(図6)。

葉色値は葉中窒素濃度を反映し、両区とも類似した増減パターンを示した(図7)。

(4) 収量及び1果重

3カ年間の1樹当たり及び樹容積当たりの収量は、年次間差はみられるが処理区間内のバラツキが大きく、有意差は認められなかった。1果重についても同様であった(表2)。

図3. 肥効調節型肥料が土壌水中の硝酸態窒素含量に及ぼす影響

(1m深の土壌水)

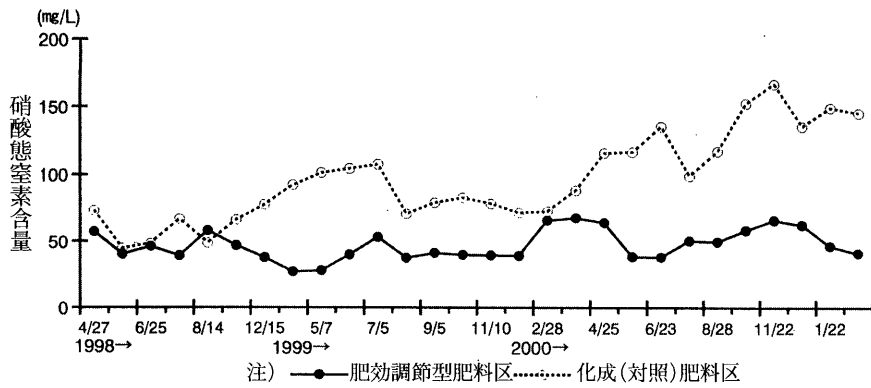


図4. 肥効調節型肥料が宮内伊予柑の葉中窒素濃度に及ぼす影響 (1998年)

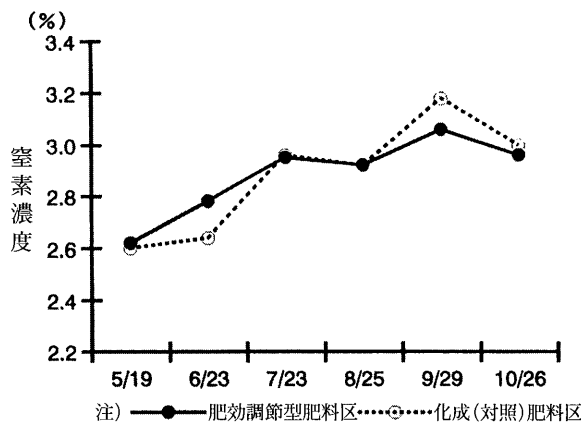


図5. 肥効調節型肥料が宮内伊予柑の葉中窒素濃度に及ぼす影響 (1999年)

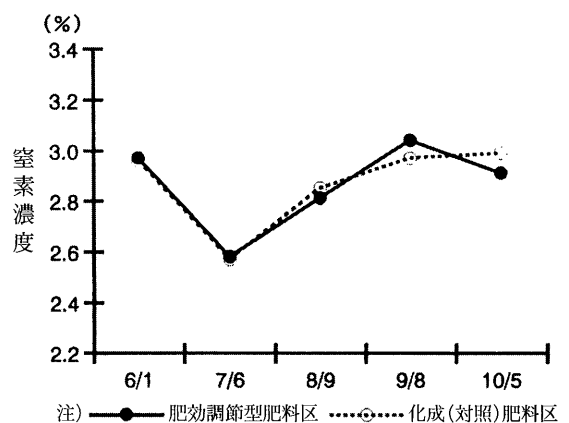


図6. 肥効調節型肥料が宮内伊予柑の葉中窒素濃度に及ぼす影響 (2000年)

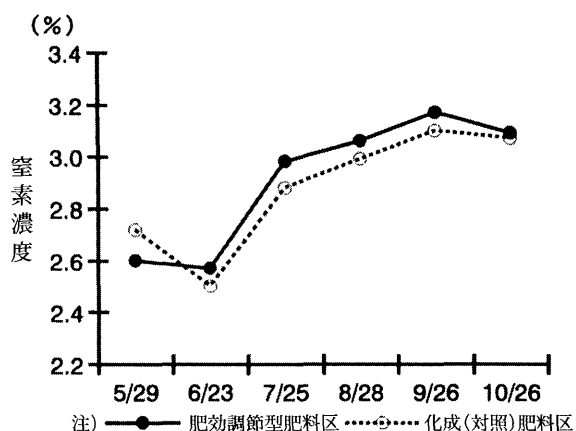
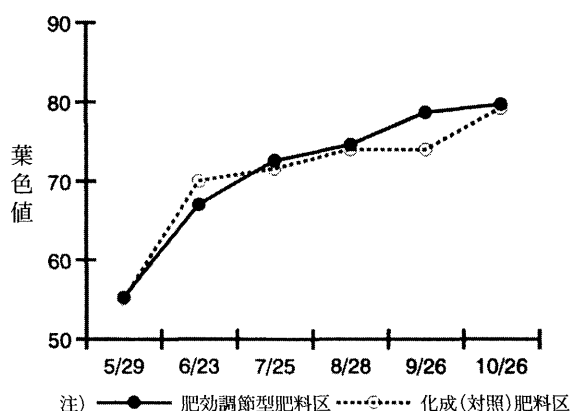


図7. 肥効調節型肥料が宮内伊予柑の葉色値に及ぼす影響 (2000年)



(5) 果実外観及び果実品質

果実外観は、果皮色 (a 値) が1999年に肥効調節型肥料区の方が優れる傾向がみられたが、その他の調査項目については有意な差が認められなかった (表3)。

果実品質については肥効調節型肥料区のBrix (糖度) が、1998年は化成肥料区より低かったが、1999年は逆に高かった。また、クエン酸含量は、1998年及び2000年において肥効調節型肥料区の方が低い傾向にあった (表4)。

表2. 肥効調節型肥料が宮内伊予柑の収量、1果重に及ぼす影響

試験区	1樹当たり収量 (kg/樹)			樹容積当たり収量 (kg/m <sup>3</sup> )			1果重 (g)		
	'98年	'99年	'00年	'98年	'99年	'00年	'98年	'99年	'00年
肥効調節型肥料区	36.7	31.2	42.7	3.6	3.2	3.9	328	221	330
化成(対照)肥料区	37.7	41.0	48.1	2.9	3.5	3.8	346	228	302
有意性	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS

表3. 肥効調節型肥料が宮内伊予柑の果実外観に及ぼす影響

(12月上旬収穫・12月中下旬分析)

試験区	着色程度			果皮色 (a値)			果皮粗滑			果皮厚 (mm)		
	'98年	'99年	'00年	'98年	'99年	'00年	'98年	'99年	'00年	'98年	'99年	'00年
肥効調節型肥料区	6.8	8.5	7.6	19.5	26.7	23.1	3.0	2.8	3.1	4.7	5.0	4.4
化成(対照)肥料区	6.9	8.2	7.2	15.5	22.7	19.6	3.1	2.7	3.1	5.0	5.0	4.6
有意性	NS	NS	NS	NS	*	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS

注) 着色程度: 無0~完着10, 果皮粗滑: 滑1~粗5

表4. 肥効調節型肥料が宮内伊予柑の果実品質に及ぼす影響

(12月上旬収穫・12月中下旬分析)

試験区	果肉歩合 (%)			Brix			クエン酸 (g/100mL)		
	'98年	'99年	'00年	'98年	'99年	'00年	'98年	'99年	'00年
肥効調節型肥料区	73.0	72.1	74.7	8.9	10.9	10.2	1.17	1.62	1.34
化成(対照)肥料区	71.9	70.4	73.7	9.7	10.2	10.4	1.27	1.53	1.41
有意性	NS	NS	NS	*	*	NS	*	NS	*

考察

現地実証試験における3カ年の土壤中の硝酸態窒素含量の推移をみると、化成肥料区では一部の時期を除くと、施肥直後に速やかに増加する傾向が認められ、硫酸を用いて実施した坂本の報告<sup>13)</sup>と類似しており、化成肥料の持つ速効性が反映されたものと思われた。また、肥効調節型肥料区も判然としなない時期はあるが、概ね溶出試験から推定された各タイプの溶出期には増加する傾向がみられた。ただし、8月下旬施用のシグモイド型100日タイプについては、12月下旬までの溶出率が50~60%程度 (本誌2001年10月号参照) であるため、

3月上旬施用のリニア型40日タイプの溶出期とかなり重複する部分があったと考えられた。降水量と土壌中の硝酸態窒素含量との関係については、概ね降水量の多い時期に含量が減少する傾向がみられ、特に1999年は施肥後においても増加が認められない時期があり、地下1mよりも深く速やかに流出したものと考えられた。また、10cm層と30cm層を比較しても、1999年は両区の差が少なく、降雨の影響が大きいと推測された。

宮内伊予柑の根群の垂直分布は、大部分が地表下25cm以内の浅層であることが知られており<sup>15)</sup>、地表下1mの深さの土壌水中の硝酸態窒素は樹体に吸収されずに溶脱するものと見なすことが出来る。

両区の土壌中における3カ年の硝酸態窒素濃度については、肥効調節型肥料区の施肥窒素量が80%であったことを考慮すると、試験開始年の1998年度は僅かに肥効調節型肥料区の方が低い程度であったが、1999年度以降は明らかな差が認められた。これは、肥効調節型肥料区においては20%を減肥しているので総施肥量が少なかったこと、さらにはその少ない施肥量にもかかわらず、伊予柑の樹体に効率的に吸収されたことが原因であると考えられる。この結果は、加治ら<sup>10)</sup>が茶園で実施した実証試験の結果と一致し、肥効調節型肥料の特性に起因するものと考えられた。また、福島ら<sup>5)</sup>は樹園地で施肥や管理作業が少なく降水量も比較的少ない冬季における硝酸態窒素濃度は流出水量に反比例する傾向があることを報告している。本試験における化成肥料区が2000年10月以降に極めて高濃度で推移した要因の一つとして、この時期の少雨の影響が大きいと考えられた。

施肥量の低減が宮内伊予柑の樹体に及ぼす影響については、高木<sup>15)</sup>及び林田<sup>7)</sup>の報告があり、前者は葉中窒素濃度の低下を、後者は葉中窒素濃度の低下及び果皮の紅が劣ることを指摘している。

本試験では肥効調節型肥料区を20%減肥して樹体への影響を検討したが、両者に共通する葉中窒素濃度の低下は3カ年間認められず、むしろ2000年は肥効調節型肥料区の方がやや高く推移した。また、果皮色についても1999年は肥効調節型肥料区のa値が高い傾向がみられた。これらのことから、少なくとも3カ年間は20%減肥の影響が認め

られず、葉中窒素の推移から判断すると化成肥料区と同等以上の肥効があったものと考えられた。ただし、両区におけるBrix及びクエン酸含量の差異についての原因は不明であるが、年次間に一定の傾向がみられないことから施肥の影響とは考えにくく、他の要因によるものと推測された。

温州ミカンの施肥窒素利用率は、解体調査等からの推定値では約50%とされ<sup>2)</sup>、<sup>15</sup>Nトレーサー法を用いた報告では春肥25%、夏肥61%、秋肥41%とされる<sup>11)10)</sup>。このことは、逆に施肥窒素の約50%以上が利用されていないことを意味するため、環境負荷の軽減を図るためには、この利用率を向上させることが重要なポイントとなる。本試験において、肥効調節型肥料区は土壌中の窒素含量が低く推移したにも関わらず、葉中窒素の低下が認められなかったことから、利用率が向上した可能性が示唆された。このため、今後は水稻<sup>17)</sup>、野菜<sup>14)</sup>、飼料作物<sup>9)</sup>等で報告されているように、<sup>15</sup>N標識肥効調節型肥料等を利用して、本肥料を用いた際の利用率を検討し、低減可能な施肥量を明らかにする必要があると考えられた。

#### おわりに

以上のように、肥効調節型肥料を利用した施肥法は、現地伊予柑園において環境負荷軽減効果が認められ、本肥料は施肥に起因する環境問題対策の有力な味方になると思われる。また、施肥回数削減による省力効果も魅力的である。ただし、果樹園において地表面施用を前提とした場合、気象変動による溶出の不安定さを軽減する対策、最適なシグモイド型タイプの選定、あるいは急峻傾斜地における施肥肥料の滑落程度の確認等、未解決の問題が残されており、さらに検討を重ねる必要があると考えている。

#### 引用文献

1. 赤尾勝一郎・久保田収治・林田至人(1978)温州ミカン樹の春季新生器官形成時における樹体内貯蔵窒素、特に秋肥窒素の利用について(その1) 園学雑47(1):31-38
2. 浅見興七(1951)果樹栽培汎論 土壤肥料編. 206pp養賢堂
3. 愛媛県農業経営課(2000)愛媛県施肥基準:38
4. 愛媛県農産園芸課(2000)果樹統計資料及び

- 果樹栽培状況等表式調査：18
5. 福島忠雄・河村宣親 (1989) 急傾斜樹園地における栄養塩類の流出特性に関する調査研究 農土論集142：75-82
  6. 羽生友治 (2001) 農業技術体系 土壤肥料編 7-1：肥料135-144の15 農文協
  7. 林田至人・犬塚和男・富永重敏・後田経雄 (1994) 幼木～若木段階の宮内伊予柑の生育、収量 九農研56：67
  8. 古屋 栄 (1995) 肥効調節型肥料による施肥技術の新展開 4 果樹の被覆肥料施用技術 土肥誌66 (5)：574-580
  9. 井上博道・伊藤豊彰・三枝正彦 (2000) 全量基肥・接触施肥・不耕起栽培におけるデントコーンの養分吸収と収量性 土肥誌71 (5)：674-681
  10. 加治俊幸・鳥山光昭・内村浩二 (1999) 被覆尿素を利用したチャの省力・低投入型施肥法 土肥誌70 (4)：567-570
  11. 久保田収治・加藤忠司・赤尾勝一郎・文屋千代 (1976) 重窒素利用による、温州ミカンの窒素の吸収とその体内移行に関する研究 四国農試報29：55-66
  12. 真木 強・江口 茂・山竹定雄・武智拓郎・島本 勉 (1974) 愛媛の水 (第4報) 忽那諸島における浅層地下水の化学的研究 愛媛衛研年報36：16-20
  13. 坂本辰馬 (1963) 温州ミカンの土壌ならびにその管理に関する研究 愛媛果試研報3, 115pp
  14. 高橋正輝 (1998) 肥効調節型肥料による施肥技術の新展開 5 野菜の施肥技術 (その1) 土肥誌69 (2)：201-205
  15. 高木信雄 (1987) 宮内イヨカンの生産性向上に関する研究 愛媛果試研報 9, 71pp
  16. 武智拓郎・江口 茂・真木 強・山竹定雄・渡部三男・島本 勉 (1977) 愛媛の水 (第8報) 愛媛県松山平野における地下水中の硝酸性窒素濃度分布 愛媛衛研年報38：21-24
  17. 上野正夫・熊谷勝己・富樫政博・田中信幸 (1991) 土壌窒素と緩効性被覆肥料を利用した全量基肥施肥技術 土肥誌62 (6)：647-653

## 肥料と切手よもやま話 (5)

越 野 正 義

### 侯 德榜と中国の化学工業

塩アン (塩化アンモニウム) はソルヴェイ法で炭酸ナトリウム (ソーダ灰) を作る際に併産される。その製造工程では原料の塩化ナトリウムにアンモニアと二酸化炭素を吹き込んで反応させ炭酸水素ナトリウムを析出させるのであるが、この際塩アンを始めに析出させて反応液を循環させれば原料塩の利用率が高くなることを、侯 德榜 (Hou Debang) が1932年にアメリカで出版した本で理論的に示した。この理論を基にして、わが国の塩アン肥料工業が発展したのである。

この切手には塩アン製造装置が描かれ、反応式も書かれている。ところが工程図中でCO<sub>2</sub>なるべきところがCH<sub>2</sub>となっているのが愛敬である。

侯 德榜は中国の化学工業の父と賞賛され、科学分野での貢献者のシリーズの一枚としてこの切手が発行された。2年前に中国のアンモニア工場を見学に行ったとき、工程はどこから導入したかと質問したら、侯 德榜の開発した国産技術だと胸を張って答えられた。地元産の石炭を原料とし製品は炭酸アンモニウム。硫酸は不要、尿素製造の高い装置も不要という自主厚生の中国向きの工程だったのである。

炭酸アンモニウムは容易にアンモニアに分解して臭いがひどく、最近では中国の農家も喜ばない。石炭を原料とすれば、二酸化硫黄、塵埃の発生対策が必要でやっかいであり、近代化が必要だろう。しかし中国ではエネルギーの70%を石炭に依存しており、また資源の耐用年数も長いから、その利用を止めるわけにはゆかないのである。

(財 日本肥糧検定協会 参与)

