

薬用資源植物の栽培法に関する研究
— Astragalus 属植物、センキュウ並びにケシについて —

柴田敏郎



①

報告番号 乙第 5131 号

薬用資源植物の栽培法に関する研究
—Astragalus属植物，センキュウ並びにケシについて—

柴田敏郎

目次

第1章 緒 論	1
第2章 キバナオウギ及びナイモウオウギの栽培に関する研究	15
第1節 ナイモウオウギ種子の休眠とその打破法について	16
第1項 実験材料及び方法	16
第2項 実験結果及び考察	17
第3項 結論	18
第2節 ナイモウオウギ種子の硬実打破に及ぼす凍結処理効果について	23
第1項 実験材料及び方法	23
第2項 実験結果	24
第3項 考察	25
第4項 結論	27
第3節 湛水处理がナイモウオウギの根群形成に及ぼす影響	34
第1項 実験材料及び方法	34
第2項 実験結果	35
第3項 考察	37
第4項 結論	38
第4節 キバナオウギ根の生育及び薬用成分に及ぼす土壌の種類の影響	47
第1項 実験材料及び方法	47
第2項 実験結果	49
第3項 考察	50
第4項 結論	51

第5節 キバナオウギ根の生育及び薬用成分に及ぼす土壌硬度の影響……	56
第1項 実験材料及び方法 ……………	56
第2項 実験結果 ……………	57
第3項 考察 ……………	59
第4項 結論 ……………	60
第6節 摘要 ……………	71
第3章 センキュウの栽培に関する研究 ……………	73
第1節 生育、収量に及ぼす施肥時期の影響 ……………	73
第1項 実験材料及び方法 ……………	74
第2項 実験結果 ……………	75
第3項 考察 ……………	76
第2節 摘要 ……………	89
第4章 ケシの栽培に関する研究 ……………	90
第1節 花芽の分化と発育に及ぼす日長時間並びに温度の影響 ……………	90
第1項 実験材料及び方法 ……………	91
第2項 実験結果及び考察 ……………	92
第2節 摘要 ……………	102
第5章 総合考察 ……………	103
謝 辞 ……………	110
引用文献 ……………	111

第1章 緒論

薬用植物はその利用方法により、漢方薬の原料としての生薬、香辛料や茶・入浴剤原料及びある特定成分の抽出原料用〔例、ルチン原料、エンジュ(*Sophora japonica* L.)の花；ベルベリン原料、オウレン (*Coptis japonica* Makino, *Coptis* spp.)の根茎や根；モルヒネやコデイン原料、ケシ(*Papaver somniferum* L.)のアヘンなど〕とに大別されるが、いずれも実験的あるいは経験的に、ある種の薬効が認められる植物の総称である。英語の「herb」という単語は、草本、薬用植物、薬草、風味用植物という語に、また、a herb garden は薬草園という語に和訳されるように、本来、生薬を含めた薬用植物全体に対する呼び名である。

しかし、現在日本で使われる「ハーブ」という語は、香辛料・茶および入浴剤などに用いられる植物（一部の薬用植物）に対する総称として用いられる場合が一般的であり、「herb」とは対象になる植物の範囲が異なる。しかし両者は発音が同じであるため、混同して使われる場合が多い。生薬の基原植物の中には香辛料として使われるものもあるため、生薬をも含めて「ハーブ」と呼ぶ風潮があるが、現在日本で一般に使われる意味での「ハーブ」と生薬とは、異なるものである。また、漢方薬原料である生薬は、今日では一般に漢方薬と呼ばれ、更に民間薬という言葉も今日では漢方薬の代名詞のように使われるが、それらはいずれも明確に区別されるものである。

すなわち、生薬や民間薬はどちらも病気の治療を目的に用いられる植物、動物、鉱物の総称であるが、中国の後漢の末期（西暦200年）に、張仲景により著わされたと言われている医学書『傷寒論』や『金匱要略』などの原典に基づいて、主として数種の生薬の配合薬として用いられるものが漢方薬であり⁷³⁾、その原料となるのが生薬と定義されている。一方、原典に相当する書物はなく、伝承により用いられるものが民間薬で、主として単品で用いられる場合が多い。すなわち、漢方薬と民間薬の根本的な違いはその治療理論にあり、漢方治療は原典の記載に基づいて行われる病人の証に対する治療（漢方医学）であり、一方、民間

治療は言い伝えによる治療である。従って、民間薬には多分に迷信的に用いられるものもあるが、すべてがそうではなく、長い間の経験によって淘汰され、今日に至っているものもあり、ゲンノショウコ (*Geranium thunbergii* Sieb. et Zucc.) やセンブリ (*Swertia japonica* Makino) がその代表例である。

漢方薬原料である生薬は、漢方医学の基礎学問である本草学の一部として、古来からその基原植物や植物の生育地・採取時期などが試行錯誤的に検討され、詳細に規定されてきた。白井(1985)によれば、『傷寒論』や『金匱要略』が著わされ時とほぼ同じ時代に著わされたと言われている、薬物書である『神農本草経』が本草書の最も古い書物とされ、本書には365種の生薬が記載されている。西暦500年頃(日本では大和時代)に中国・梁の国の陶弘景は、これに365種を追加して薬物書『神農本草経集註』を著わし、659年(飛鳥時代)には唐の国の李勣等により、更に120種が追加され(計850種)『新修本草』が著わされたが、本書は世界の薬局方の第一号とも言われているものである。その後、1569年(室町時代末期)の明の時代に李時珍により著わされた『本草綱目』においては、1892種の生薬に関して詳細な記述がなされている⁶⁸⁾。

日本における漢方医学は、400年頃(大和時代)朝鮮半島の新羅・百濟より伝来したといわれており、その後、遣隋使や遣唐使を通じて多くの医学・本草書が伝わった⁷³⁾。701年には大宝律令により医薬制度が初めて制定され、典薬寮が設けられその中に薬草園や薬園師が置かれた。そして、陶弘景が著した神農本草経集註を基に本草学の講義が始まったとされる⁶⁸⁾。奈良時代(710-794)には遣唐使や僧侶を通じて多くの生薬が中国(唐)より持ち込まれ、それらは奈良東大寺の正倉院に奉納・貯蔵され、1000年以上を経た今日まで、60種が形状をそこなうことなく貯蔵されていることが明らかとなっている⁴⁾。

787年に新修本草が伝来し、918年(平安時代)には日本人による最初の本草書『本草和名』が深根輔仁によって著わされ、1025種の生薬が挙げられた⁶⁸⁾。室町時代(1338-1573年)には戦乱のため寺社が荒廃し、医療は民間の経験医術が盛んとなり、生薬は家伝薬として温存された。明に留学して中国医学を学んだ田代三喜に教えを受けた曲直瀬道三

は、多年の臨床経験を通して中国の宋・金・元の医学体系を整理して、1574年医学書『啓迪集』を著わし、これが安土桃山時代から江戸時代にかけての日本の医学の主流となり、日本の漢方医学が独自の発展をとげる基礎となった²³⁾。

江戸時代になると1612年に本草綱目が長崎に伝わり、1630年林羅山はそれをもとに『多識篇』を著わした。1638年江戸幕府は現在の東京麻布及び大塚に薬草園を開設し、日本における本草学が本格的に始まった。1666年日本で最初の図解百科辞典と評されている『訓蒙図彙』が、中村傷斎によって著わされた。幕府は1684年薬草園を小石川に移して小石川薬園を設け、以後全国各地に薬草園が開設された⁶⁸⁾。1697年宮崎安貞によって著わされた『農業全書』^{44a)}には、25種類の薬草の栽培法が記されている。

1709年貝原益軒によって1362種の生薬が挙げられた『大和本草』が著わされ⁶⁸⁾、1713年医師である寺島良安によって、1080種類の植物はじめ天文・人物・地理・動物等について本草綱目の記載をも解説に加えた図解百科辞典である『和漢三才圖会』⁷⁶⁾が著わされた。1721年小石川薬園の規模が拡大されるとともに、小石川養生所が設立された。1730年代には、将軍吉宗の命により、諸国探薬使が任命されて全国の薬草の調査がはじまるとともに、各藩内の産物目録の進上が行われた。さらに、有用植物の種苗を海外から導入し、国内での増殖をはかった⁶⁸⁾。1737年にチョウセンニンジン (*Panax ginseng* C. A. Mey.) の種子が導入され、田村藍水が栽培に成功し、全国に普及され、1748年には栽培法を記した『人参耕作記』が著わされた³¹⁾。小野蘭山は全国に植物採集にでかけるとともに本草綱目の講義を行い、その講義内容は文語にまとめられて『本草綱目啓蒙』(1806年)として出版され、その後の本草学・博物学に大きな影響を及ぼした。蘭山の門下であった岩崎漣園は、1844年に全巻彩色の『本草図譜』を著わした。その後、色彩画と共に植物をリンネの分類体系(1753年)にしたがい、一部学名やオランダ名を付した『草木図説』を1856年に飯沼慾齋が著わしたが、これらは江戸期を代表する植物図鑑である^{31, 54)}。

一方、1571年長崎へオランダ船の来航以降、西洋の医学の日本への流入がはじまり、江

戸幕府による鎖国政策(1633年)以降も、長崎の出島を通じたオランダ船の出入りによって多くの医学・本草書(現在の植物分類学の基礎となるものも含む)がもたらされた。また、医者であり博物学者であるケンベル(1690-92)、チュンベリー(1775-76)、シーボルト(1823-28)などの来日は、蘭学と共に近代植物学(分類、形態、生理)をもたらし³⁰⁾。青木昆陽は、オランダ語を学び後の蘭学の発展に貢献した。1741年西洋の本草書が幕府の奨励のもと、医師野呂元丈らによって和文で初めて解説され(『和蘭本草和解』)、西洋の本草への興味が一段と高まった。1754年日本で最初の医学研究のための人体解剖が行われ、これを契機として西洋医学の教科書といわれていたターヘル・アナトミアの和訳本として、『解体新書』を1774年杉田玄白・前野良沢らが著わし、西洋医学が本格的に日本に導入されることとなった³¹⁾。1849年ヨーロッパにおける牛痘法による天然痘の予防法の確立は、進んだ西洋医学を日本国民に広く認識させることとなった⁷³⁾。

植物学の領域では、1834年に宇田川榕庵が、シーボルトから贈られたスプリングルの植物学の入門書を参考にして『植物啓原』を著わし、西洋の近代植物学の全貌を日本に紹介した³⁰⁾。以上のような経緯で中国医学にその基礎をおいた日本の伝統(漢方)医学と、その基礎学問である本草学は発展し、一方ではオランダとの交流やケンベル、チュンベリー、シーボルトなどの来日を通じて西洋医学や西洋の本草学・博物学及び近代植物学がもたらされ、幕末をむかえることとなったのである。

1868年明治維新政府の欧米の文化・思想・風俗等を積極的に取り入れようとする近代化政策によって、1875年医師の資格試験が西洋医学に限られ、漢方医学は切り捨てられ、医者の治療行為には西洋医学に基づくもののみが採用されるに至った。これに伴い江戸時代に開設された全国の薬草園は植物園に変わるか廃止となり、江戸幕府が奨励した薬用植物の研究は廃絶の憂き目を見ることとなった。針灸も同様に医学の世界から消え、民間の徒弟制度による特殊職業とみなされるようになった。漢方はこの間に迷信的な民間薬や売薬としての家伝薬に変形し、現代にも見られる「煎じ薬=漢方薬」という誤解が生まれることにもなった^{23, 73)}。

その後、西洋医学を学んだ開業医により、伝統医学である漢方医学の見直しが行われ、1928年湯本求真は漢方医学を西洋医学の立場から位置付けた『皇漢医学』を著わし、現代における漢方のパイオニアとなった²³⁾。一方、薬学の領域では、1887年長井長義が、発汗・鎮咳薬として漢方医学で汎用されていた生薬麻黄からエフェドリンを単離し、1911年にはその全合成に成功した。そして、翌年の1888年には田中順太郎らによって、エフェドリンの血圧上昇及び瞳孔散大などの薬理効果が報告された²⁵⁾。また、鍼灸の刺激生理学の研究が進められ、1920年代には電気生理学的にかなりのデータが得られ、漢方医学の効能は科学的に実証された²³⁾。西洋医学の方法論の行きづまりと新薬の乱用によるその効果への不信から、漢方医学復活への気運が徐々に高まり、1950年には東洋医学会が設立された。1976年漢方薬（製剤）210処方健康保険の適用となり、漢方薬が再び医療の場で種々の疾病治療に用いられるようになった。現代医学では化学的理学的診断によって病名が決定され、薬物・手術等の治療が行なわれているが、病名が決定しても治療方針のたたない疾病が少なくないのが現状である。また、合成医薬品の副作用が近年社会問題となり、天然の医薬品である漢方薬や生薬に対する期待と関心の高まりが、漢方薬再評価への動きの背景となっていると考えられる。以来、原料となる生薬の需要が急速に高まり今日に至っている。

しかし、現在日本で使用されている漢方薬原料である生薬は、需要量の約80%を中国・韓国はじめ海外からの輸入に依存しており、その多くは野生品の採取に頼っているのが現状である²⁸⁾。乱獲や自生環境の悪化によって絶滅の危機に瀕している種も報告され^{12, 51)}、中国では資源保護のため採取量を制限している生薬（例、甘草、ウラルカンゾウ *Glycyrrhiza uralensis* Fisch.）もある。今日、薬用植物資源の保存と保護の重要性が世界的に見直され（1988年、チェンマイ宣言）、1992年の国連環境開発会議（地球サミット）のリオ宣言及び行動計画であるアジェンダ21の中で、薬用植物資源の保存と保護が表明され、栽培による供給体制の確立が求められている。

現在、生薬は厚生省が定めている「日本薬局方」^{34a)}及び「日本薬局方外生薬規格」³⁷⁾の品質基準に基づいて管理されており、品質の一定したものが供給される必要がある。生薬

の品質に影響を及ぼす要因の一つに、生薬の基原植物の問題がある。すなわち、中国は既述のように長い歴史と広大な土地を有しているため、同名の生薬でも地域（産地）や時代により基原植物が異なっているものがある（白朮、柴胡、升麻、紫根、牛膝、木通、貝母、大黃、葛根、等）⁴⁸⁾。また、日本で使われる生薬と中国で使われる生薬とでは、同名であってもその基原植物（例、当帰、防己、川芎、等）や用いられる植物体の部位（例、茵陳蒿、日本・花。中国・若い葉；細辛、日本・根。中国・葉及び根）が異なっているものがあり、品質管理に当たって注意が必要である。これらの問題に対しては、生薬学の分野で研究が進められているが、種類が多いことや、種類によっては高山に分布する植物等もあって材料植物の入手が困難なため、今なお未解明の部分が多い。

生薬の品質に関わるもう一つの要因として、気象条件・収穫時期・生育年数・生育地域や土壌条件及び収穫後の乾燥方法等によって、品質にバラツキが生じやすい点が挙げられる。従って、正しい基原植物を、確立された栽培マニュアルに基づいて生産・供給しうる体制の確立が強く望まれている。

近年国内での薬用植物の栽培が盛んになり、その栽培面積が急速に増加し、現在日本で栽培されている薬用植物は73種類（43都道府県）にのぼっているが^{52a)}、上述した明治政府による漢方医学の切り捨て政策の影響もあって、生薬の栽培化研究は立ち遅れ、栽培は主に農家の経験に基づいて行われるなど、農学的なアプローチによる研究結果に基づいて栽培生産が行われている種類は少ない^{27, 28)}。また、生薬の基原植物は、いずれも殆どが野生種に近い性質を有しており、生育や発芽にバラツキが多く、栽培研究を一層困難にしている。さらに、厚生省が定めている「日本薬局方」^{34a)}及び「日本薬局方外生薬規格」³⁷⁾に記載されている生薬の基原植物184種類の内、約40%の種類は地下部器官が生薬として用いられているにもかかわらず（別表I）、地下部器官の生育に関する研究、特に土壌条件との関連については、殆ど行われていない。以上のように、薬用植物資源の保存と保護の面からも、また、生薬を安定的に供給し且つその品質を均一化させるためにも、農学的な面からの栽培研究が強く求められているのである。

一方、以前に植物体から抽出・単離された薬用成分で、今日もなお医療の場で使われている薬用成分に、モルヒネ（鎮痛，ケシ *Papaver somniferum* L., 1814年）²⁵⁾、エメチン（ア
メーバ赤痢，トコン *Cephalis ipecacuanha* Richard, 1817年）⁴³⁾、キニーネ（抗マラリア，キ
ナノキ *Cinchona succirubra* Pavon et Hlotzsch, 1820年）¹⁰⁾、コデイン（鎮咳，ケシ
Papaver somniferum L., 1833年）²⁵⁾、コカイン（鎮痛，コカ *Erythroxylon coca* Lamark,
1860年）²⁵⁾、エフェドリン（発汗・鎮咳，マオウ属植物 *Ephedra* spp., 1887年）²⁵⁾等多
くの成分を挙げることができる。人類の最大の課題は、苦しみから逃れることにあり、特に
疼痛からの解放は究極の課題である。一戸（1990）によれば、アヘンアルカロイドを代表
する鎮痛薬モルヒネは、1814年ケシのアヘン（未熟なさく果に切り傷をつけ、溢泌する乳
液を集め乾燥させたもの）からフランスのデローネにより単離され、1831年構造式が決定
された。また、1833年アヘンから鎮咳薬コデインが単離され、1881年にはモルヒネから合
成に成功した²⁵⁾。さらに、1952年アメリカのゲエーツはモルヒネの全合成に成功したが
²⁵⁾、現在、工業的に生産されるモルヒネは、合成では経済的に採算が合わず、アヘンから
抽出・精製されている。しかし、モルヒネは鎮痛作用と共に陶酔感をもたらす習慣性とな
り、長期間使用した後に中止すると激しい禁断症状を起すため⁸¹⁾、原料であるアヘンの取
り扱いやケシの栽培に関して、先進国はもとより現在日本においても麻薬取締法およびアヘ
ン法（厚生省）に基づき厳しく管理されている。

ケシ (*Papaver somniferum* L.) は、ヨーロッパ東部～西アジア原産のケシ科の1年草で^{39b)}
、厚生省薬務局麻薬課編「けし植物図譜」(1989)³⁶⁾によれば、日本への渡来は17世紀と言
われているが、不明な点が多い。また、同書によれば、日本における栽培は1837年頃大阪
府下において始められたと言われ、本格的にアヘンの製造が始まったのは1876年からであ
るとされている。元来ケシは温暖な気候を好み、大阪府・和歌山県下で栽培が盛んに行わ
れ、その後アヘンの増産が奨励され各地に広まり³⁶⁾、近年では北海道においても生産され

ているが、経済的理由で国内栽培は減少した。しかし、がん疼痛緩和はじめ鎮痛の目的で使用されるモルヒネの使用量は近年急増しており、これに対する安定供給が厚生省の責務になっている。その原料アヘンは、殆どをインドからの輸入によってまかなわれているが（約62t, 1990年）、インドにおける近年の天候不良と在庫不足のため、日本の国内需要をまかなうだけのアヘンの確保が困難になりつつあり、国内での栽培生産の拡大が必要で、九州や四国においてもすでに試作が始まっている。

現在国内で栽培されている品種は、1937年に選抜によって育成された「一貫種」³⁶⁾のみである。一般にケシは長日条件下で花芽が分化すると考えられているが^{13, 42)}、栽培品種「一貫種」において、花芽分化と日長時間や温度との関係については明らかとなっておらず、栽培地域の拡大にあたっては、アヘン収量に大きな影響を及ぼすさく果の成長との関連から、花芽分化のメカニズムを解明する必要がある。

以上のような薬用植物をとりまく状況を鑑み、本研究では、品質の一定した生薬の安定供給をはかるため、栽培化が求められている生薬としての黄耆、栽培の拡大が求められている生薬としての川芎、及び国内での栽培生産の拡大が急務となっているケシ栽培品種「一貫種」について、それらの栽培技術の確立のための基礎的検討を行った。それらの成果は、本論文において、第2章では生薬黄耆の基原植物であるナイモウオウギ（Plate 1, 2）及びキバナオウギ（Plate 1, 2）の栽培に関する研究、第3章では生薬川芎の基原植物であるセンキュウ（Plate 3）の栽培に関する研究、第4章ではケシ（Plate 4）の栽培に関する研究として論じた。なお、各植物に関する概要並びに薬用としての使用部位、使用される漢方処方等について別表Ⅱに示した。

別表Ⅰ 日本薬局方および日本薬局方外生薬規格に記載されている、植物を基原とする生薬の利用部位（藻類、菌類は除く）

	根および 根茎類*	葉および茎	花、蕾および 花穂等**	樹皮および 木部等***	種子、果肉 および果実等	樹皮および 木部等***	合計
第13改正日本薬局方#	50	16	6	9	35	9	116
日本薬局方外生薬規格#	25	9	5	4	25	4	68
合計	75	25	11	13	60	13	184
(全体に占める割合 %)	(40.8)	(13.6)	(6.0)	(7.0)	(32.6)	(7.0)	(100)

同一植物で利用部位が重複する場合は、それぞれ各部位で数えた。数字は植物の種類数。

; 厚生省 (1996)

; 厚生省薬務局審査第二課 (1989)

* ; 根皮、塊根、球茎を含む, ** ; 柱頭および花弁を含む, *** ; 幹から得た樹脂を含む



Two-year-old plant of ナイモウオウギ *A. mongholicus*.
 Flowering (left) and cultivation on trial in Nayoro, Hokkaido (right).
 Photos were taken in June.



One-year-old plant of キバナオウギ *A. membranaceus*.
 Flowering (1), flowers (2) and cultivation in Yasato-machi Ibaraki-Pre. (3).
 Photos were taken in middle September.

Plate 1 ナイモウオウギ (*Astragalus mongholicus* Bunge)
 とキバナオウギ (*Astragalus membranaceus* Bunge)



Two-year-old plants of ナイモウオウギ *A. mongholicus* (left) and キバナオウギ *A. membranaceus* (right) in early June in Tsukuba, Ibaraki-Pre..
A. mongholicus is flowering, while *A. membranaceus* keeps vegetative growth.



Crude drugs produced in Shanxi (山西省), China (right, Specimen No. TS- 3105, 3108) and ones produced in Japan (left, No.TS-1667, 1668). Bars represent 10 cm.

Legumes of *A. mongholicus*.
 Bar represents 5 cm

Plate 2 ナイモウオウギ (*Astragalus mongholicus* Bunge)
 とキバナオウギ (*Astragalus membranaceus* Bunge)



Cultivation in Hokkaido



Flower (in Nayoro, Hokkaido)



Subterranean part after harvest.
Bar represents 10 cm.



Crude drugs produced in Hokkaido
(Specimen No. TS-3097).
Bar represents 5 cm.

Plate 3 センキュウ (*Cnidium officinale* Makino)



Flowers of several strains

Flowers of *Papaver somniferum* L. cv "Ikkanshu" cultivated on trial in Tsukuba, Ibaraki-Pre., Japan.



After scratching the surface of capusle (at week 2 after flowering) using special knife (left), opium is exuded from the capusle (center). Opium is collected by special spatula (right).

Plate 4 ケシ (*Papaver somniferum* L.)

別表Ⅱ 研究材料とした薬用植物に関する概要と薬効および用途について

植物名(和名)	植物名(学名)	科名	生薬名	使用部	主な薬理効果と成分	使用漢方処方または用途
キバナオウギ (原産地：中国北部，蒙古，ソビエト，朝鮮半島)	<i>Astragalus membranaceus</i> Bunge	マメ科	黄耆	根	強壯 (astragaloside類)，利尿 血圧降下 (アミノ酸，astragaloside類) 抗菌作用 (イソフラボノイド類)	十全大補湯，補中益気湯，七物降下湯 黄耆建中湯，人参養栄湯
ナイモウオウギ (原産地：中国北部，蒙古，ソビエト)	<i>Astragalus mongholicus</i> Bunge	マメ科	黄耆	根	同上	同上
センキユウ (原産地：中国と推定されている)	<i>Cnidium officinale</i> Makino	セリ科	川芎	根茎	駆瘀血 (精油成分)，補血，強壯 鎮静 (精油成分)	当归芍薬散，四物湯，女神散， 芍帰調血飲，十全大補湯，十味敗毒湯
ケシ (原産地：ヨーロッパ東部，西アジア)	<i>Papaver somniferum</i> L.	ケシ科	-	アヘン	鎮痛 (モルヒネ)，鎮咳 (コデイン)	鎮痛薬原料，風邪薬 (咳止め) 原料

参考文献：日本公定書協会監修(1991)，“第十二改正日本薬局方解説書”，廣川書店，東京，pp.D 111-114，pp.D 535-537.

厚生省薬務局麻薬課(1989)，“けし植物図譜”，第一法規出版，東京，pp.105-106.

牧野富太郎著，前川文夫，原 寛，津山 尚編集(1973)：“牧野新日本植物図鑑”，北隆館，東京，p. 199.

第2章 キバナオウギ及びナイモウオウギの栽培に関する研究

マメ科の多年草であるキバナオウギ *Astragalus membranaceus* Bunge 及びナイモウオウギ *A. mongholicus* Bunge の乾燥根は、共に生薬黄耆の基原植物として第十三改正日本薬局方^{34b)} に収載されている。黄耆は強壯、止汗、利尿を主目的として、補中益気湯、十全大補湯、七物降下湯などの漢方処方に使用される重要な生薬であり、その成分として、astragaloside I ~ IV⁴⁶⁾、 γ -aminobutyric acid¹⁷⁾ 及びイソフラボノイド I ~ V⁶⁵⁾ などが知られ、最近では astragaloside IV に降圧作用や抗炎症作用が報告されている¹⁹⁾。その生薬の質は緻密で柔軟性があり、香気が高く、甘味があり、主根が良く発達し分枝根の少ないものが良品^{53, 50a)} として市場で好まれ、年間約200 t が中国、韓国及び北朝鮮より輸入されている^{50a)}。

キバナオウギ *A. membranaceus* Bunge は中国東北、華北、四川省、蒙古、朝鮮半島及びソ連に分布し⁷⁾、中国では野生品を採取しているが、ほとんどが生産地域で消費され³³⁾、日本市場へは韓国及び日本での栽培品が供給されている^{50a)}。現在日本においては北海道、岩手及び茨城で栽培生産されているが、栽培の歴史は浅く、その生産量も少ない(13 ha, 約20 t, 1992年)^{52b)}。韓国及び日本での栽培によって日本市場へ供給されている生薬は、分枝根が多く⁵³⁾、主根が良く発達し分枝根の少ない生薬の供給が求められている。

一方、ナイモウオウギ *A. mongholicus* は中国東北、華北、蒙古及びソ連に分布し⁷⁾、中国においては北耆、綿耆と呼ばれ、古くから栽培化が試みられ、黄土高原の一部にあたる山西省太行山脈の支脈、五台山脈及び恒山山脈の標高1,300~2,000m 以上の山地を中心に生産されている³³⁾。日本市場においては、本種を基原とする生薬の供給がのぞまれているが、現在中国からの輸入に依存しており、日本での栽培生産が望まれている。しかし、圃場での直播栽培を試みたところ、発芽が不揃いであり、しかも分枝根の発生が著しく、地下部全乾物重に占める主根の割合は20%にすぎず、中国産市場品に見られるような、分枝根の発生が少なく主根が長く伸びた形状(以下、直根状と表現する)の根(生薬)は得られなかった

66)。元来、両種は乾燥した日当りの良い斜面で、砂質の土壌を好むと言われているが^{50a)}、土壌の種類はじめ土壌の物理性が根の生育・形状及び生薬としての品質に及ぼす影響について詳細に検討された報告は乏しい。

以上のような状況をふまえ、本章ではナイモウオウギの国内での安定した生産を可能にし、キバナオウギ及びナイモウオウギともに、直根状の生薬の栽培生産を可能とするべく研究を行った。

第1節 ナイモウオウギ種子の休眠とその打破法について

本種の種子は、小砂利などと共に数分間擦すり合わせる処理をしないと圃場では揃った発芽は見られない。マメ科の種子においては硬実の原因となる種子の休眠が知られているが⁵⁾、9, 47, 77)、本種に関しては詳細な報告は見あたらない。そこで、本種の種子に見られる発芽不揃いの原因とその打破方法について検討を行った。

第1項 実験材料及び方法

1. 材料：国立衛生試験所北海道薬用植物栽培試験場（名寄市）で栽培した実生3年生のナイモウオウギ *Astragalus mongholicus* Bunge 株から、1991年6月24日に豆果を採取し、1ヶ月間室温で乾燥させた後、種子を取り出し、5℃条件下で貯蔵した種子（100粒重；0.759 ± 0.031g）を用いた。

2. 種子の硬実打破処理：機械的な種子の摩擦処理は、種子を種子の約20倍量の小砂利（直径約5 mm）と共にポリエチレン袋に入れ、15分間人為的に擦りあわせて行った。加熱処理は、乾燥機を用いて80℃条件下で行った。凍結・解凍処理は、200粒の種子を3 mlの蒸留水と共に5 mlバイアル瓶に入れ、冷凍庫内-22℃で凍結させた後、氷が解けるまで熱湯で数分間解凍して行った。

3. 種子の含水率の測定：5℃条件下で4ヶ月間保存した後、機械的な摩擦処理を加えた

種子20粒を1回の測定に供試し、水分計 (EB-330MOC, 高津製) を用いて3反復で含水率を求めた。

4. 発芽試験: 直径9 cmのペトリ皿中の湿った口紙 (TOYO No. 2) 上に50粒の種子を置床し, $25 \pm 1^\circ\text{C}$ 暗条件下で, 3反復した。

第2項 実験結果及び考察

1. 種子の硬実性について

採取直後の豆果から取り出した種子の, 置床後10日目における発芽率は98%であったが, 豆果の乾燥期間が長くなるに従い発芽率は顕著に低下し, 採取後9日間乾燥させた豆果から取り出した種子の発芽率は約30% (置床後18日目), 31日間では10% (同) であった (Fig.1)。種子は吸水が始まると大きく膨れ, 非吸水種子と容易に区別することができる。機械的な摩擦処理を行った種子の含水率の変化を経時的に調査した結果, 吸水種子は水に浸漬後3時間で認められ, 含水率は1.4%から36.8%に急速に増加し, 24時間後には58.6%, 72時間後には66.5%に達して発芽に至った。一方, 非吸水種子では含水率の増加は全く認められなかった (Table I)。以上の結果より, 本種子の乾燥後に認められる発芽不良は, 機械的な摩擦処理によって改善されることから, その原因は種皮の硬実に起因する吸水阻害によるものであり, 植物体から離れた後, 豆果及び種子が乾燥する過程で硬実化が進行し, 少なくとも乾燥後9日目にはすでに硬実化が認められることが明らかとなった。

2. 種子の硬実打破について

硬実の打破法としての機械的な摩擦処理は, 効果的であるが大量の種子を処理するには実用的ではない。Brant et al. (1971) はcrownvetch (*Coronilla varia* L) 種子において, -80°C における凍結処理と解凍処理を交互に繰り返したが, 硬実種子数の低下には効果がなかったことを報告している⁶⁾。また, Midgrey (1926) はアルファルファ種子において, -15°C における凍結処理と解凍処理は硬実打破に効果的であるが, -5°C と -15°C での処理結果では両者に差を認めず, 処理温度 (強度) は影響しないことを報告している⁴⁾。なお, これらの文献

ではいずれも凍結 (freezing) 処理と記載されているが、乾燥種子は種子内に凍結水を含まないで、厳密にはいずれも低温 (cooling) 処理である⁶³⁾。採取後1ヶ月目に豆果から種子を取り出し、7ヶ月間5°Cで保存したナイモウオウギ種子を水とともに-22°Cで17日間凍結させ、その後解凍させた結果、硬実打破に顕著な効果が認められた (Fig.2)。この時、熱湯によって数分間で急速解凍した場合と、室温で2時間ゆっくり解凍した場合とでは、その効果に差は認められなかった (Fig.2)。次に硬実打破に及ぼす凍結期間の影響を2日から180日の間で検討した結果、2日間の凍結処理でも効果は認められたが、処理期間が30日間以上の場合に、明らかな発芽率の増加が認められ、特に発芽初期における発芽率の増加は顕著であった (Table 2)。なお、硬実打破法として加熱処理が知られ、アルファルファ種子においては効果的であることが報告されており^{15, 58, 72)}、本種についても80°Cにおける加熱処理を試みたが、硬実打破効果は全く認められなかった (データ未記載)。

第3項 結論

圃場栽培において認められた本種の発芽が不揃いの原因は、採取後の種子や豆果の乾燥過程で生ずる硬実による吸水阻害によるものであることが判明し、その硬実打破には-22°Cで水と共に種子を凍結させ、その後解凍する方法が効果的であることが明らかとなった。また、この凍結処理は30日以上行った場合に、より効果が強まることも明らかとした。

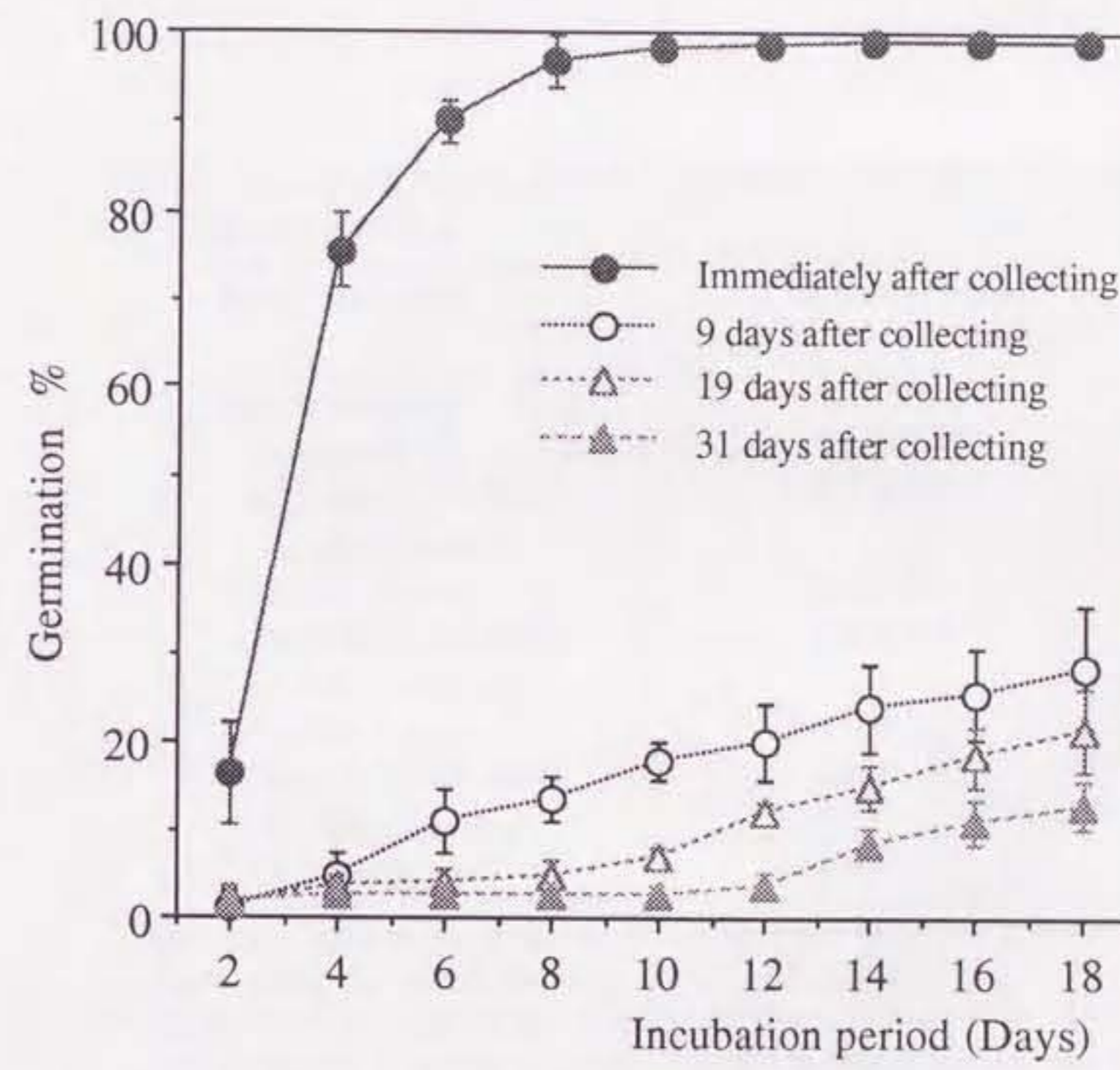


Fig. 1 Germination of Seeds Removed from Legumes Dried for Different Period after Harvested. Matured legumes were harvested on July 24, 1991 and dried at room temperature. The seeds used were removed just before the germination test. Three replications (50 seeds of each) were used. Bars represent standard deviation.



Table 1: Change of water content after soaking in water in the seeds mechanically scarified.

Seed conditions	Water content (%) Fresh weight
Before soaking	
Dry seeds	1.4 ± 0.3*
Dry seeds (powder)	8.8 ± 1.1
3 h after soaking	
Imbibed seeds	36.8 ± 3.5
Non-imbibed seeds	3.6 ± 2.3
24 h after soaking	
Imbibed seeds	58.6 ± 2.8
Non-imbibed seeds	2.4 ± 1.7
72 h after soaking	
Imbibed seeds**	66.5 ± 5.7

Note: Seeds used were removed from legumes dried for 1 month after harvesting and then stored at 5 °C for 4 months.

* Each value represents an average of three replications ± standard deviation. Twenty seeds were used for one measurement. Water content was measured by the water content meter.

** Just before germination.

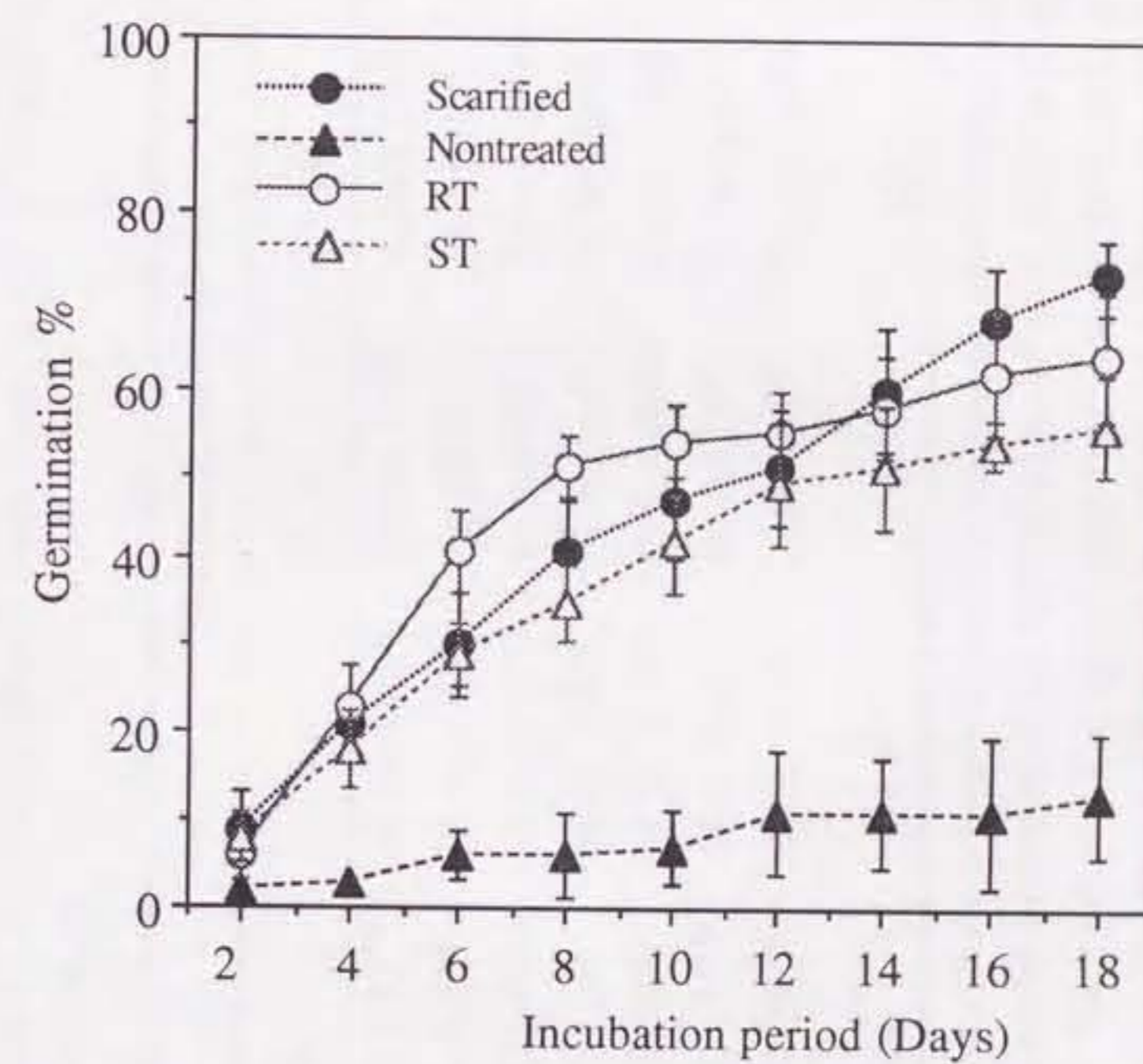


Fig. 2 Effect of Scarification with Gravel and Freezing Treatment to the Seeds with Water at -22°C in a Deepfreezer for 17 Days Followed by Thawing on Germination Percentage. After freezing, the seeds were rapidly thawed in boiling water for a few minutes (RT), and were slowly thawed at room temperature for 2 hr (ST). Bars represent SD.

Table 2 Effect of duration of freezing treatment with water at -22 °C in a deep freezer on germination percentage.

Duration of freezing treatment (days)	Incubation period (days)				
	6	8	10	14	18
2	30.0± 9.17 ^{cd}	49.3± 8.08 ^{bc}	55.3±6.43 ^{cd}	61.3±6.43 ^{cd}	62.0±6.93 ^{cd}
4	21.3± 8.32 ^d	35.3±11.02 ^c	46.7±9.45 ^d	58.7±8.08 ^d	60.7±7.02 ^d
7	40.0±11.13 ^{bc}	53.3±11.01 ^{ab}	61.3±8.08 ^{bc}	64.7±6.43 ^{bcd}	66.0±7.21 ^{bcd}
30	63.3± 1.16 ^a	68.0± 2.00 ^a	72.7±3.06 ^a	74.0±2.00 ^{ab}	74.0±2.00 ^{ab}
60	41.3±10.26 ^{bc}	58.7± 1.15 ^{ab}	65.3±3.06 ^{abc}	71.3±1.15 ^{abc}	72.0±2.00 ^{abc}
90	53.3± 2.31 ^{ab}	61.3± 6.43 ^a	66.7±4.16 ^{ab}	75.3±9.02 ^a	77.3±9.02 ^a
180	58.7±12.05 ^a	65.3± 8.33 ^a	70.0±3.46 ^{ab}	71.3±2.31 ^{abc}	72.0±3.46 ^{abc}
LSD(0.05)	15.29	14.79	10.34	10.45	10.67

Note: Seeds used were taken out from legumes dried for one month after harvesting and then stored for 7 months. Values with different superscripts are significantly different from each other at 5 % level of probability by LSD test. Each value is average of three replications (50 seeds of each) ± standard deviation. LSD (0.05): Least significant difference at 5 % level of probability.

第2節 ナイモウオウギ種子の硬実打破に及ぼす凍結処理効果について

第1節において、本種の発芽が不揃いの原因は、採取後の種子や豆果の乾燥過程で生ずる硬実に起因する吸水阻害によるものであることが判明し、その硬実打破には -22°C で水と共に種子を凍結させ、その後解凍する方法が効果的であることが明らかとなったので、より簡便な処理法を確立するため、凍結温度及び処理時間が硬実打破に及ぼす影響について詳細に検討を行なった。また、硬実性を持たないキバナオウギ *A. membranaceus* Bunge 種子についても比較した。

第1項 実験材料及び方法

1. 材料： 国立衛生試験所北海道薬用植物栽培試験場（名寄市）で栽培した実生3年生のナイモウオウギ *Astragalus mongholicus* Bunge 株及びキバナオウギ *A. membranaceus* Bunge 株から、各々1992年8月24日及び1991年11月6日に豆果を採取し、1ヶ月間室温で乾燥させた後、豆果から種子を取り出し、 5°C 条件下で貯蔵した種子（100粒重；ナイモウオウギ $0.801 \pm 0.022\text{g}$ 、ナイモウオウギ $0.631 \pm 0.019\text{g}$ ）を用いた。

2. 冷却及び凍結処理：急速低温処理は、150粒の種子を5mlのクライオチューブに入れ、チューブ全体を液体窒素中（ -196°C ）に沈めて行なった。冷却後、クライオチューブを 40°C の水を入れたウォーターバス内に数分間放置し、昇温させた。急速凍結処理は、150粒の種子を2mlの蒸留水と共に5mlのクライオチューブに入れ、 -196°C は液体窒素中に、 -76°C はドライアイスを入れたメタノール中に、 -40°C 、 -30°C 及び -20°C はプログラムフリーザー（Eyela MPF-40, 東京理化製）内に満たしたメタノール中に、それぞれチューブ全体を沈めて行った。ゆるやかな凍結処理は、150粒の種子を2mlの蒸留水と共に5mlのバイアル瓶に入れ、バイアル瓶を冷凍庫内（ -22°C ）に17日間放置して行った。凍結後、クライオチューブまたはバイアル瓶を 40°C の水を入れたウォーターバス内に、氷が解けるまで放置し（数分間）急速に解凍した。温度の測定は、デジタル温度計（Model CT-500P, カスタム社製）を用いて行った。

3. 発芽試験：プラスチック箱 (16 (H) × 8 (W) × 3 (D) cm) 内の湿った口紙 (TOYO NO. 2) 上に50粒の種子を置床し、蛍光灯による連続照明下、 $25 \pm 1^\circ\text{C}$ の温度条件のもとで、3回反復した。正常に発芽した幼植物、子葉が傷ついたり胚軸に傷害がみられた幼植物、腐敗した種子及び吸水しなかった種子をカウントし、置床数に対する割合を求めた。

4. 液体窒素で急速凍結した種子に由来する幼植物の生育試験：赤玉土と堆肥を2:1の割合で混合した土2 kgを素焼き鉢 (直径28 cm, 深さ30 cm) に充填し、1992年9月2日に、1ポット当たり20粒播種した。発芽率を調査した後、1992年10月2日に1ポット当たり5本に間引き、播種後70日目の1992年11月12日に全株を掘り上げ、草丈、葉数及び地上部、地下部の乾物重を測定した。

第2項 実験結果

1. 液体窒素による急速凍結及び冷却処理が硬実打破に及ぼす影響

ナイモウオウギ種子を、水と共に1時間液体窒素処理した凍結処理では、水を加えないで処理した低温処理に比べ、硬実打破はより効果的であったが、子葉が傷ついたり胚軸に傷害がみられた幼植物 (injured seedlings, Fig. 3) や発根後子葉の展開に至らず死滅する幼植物 (killed seedlings) が、高頻度で認められた (Table 3)。凍結処理において、水を加えた後凍結するまでの時間の影響について、直後から24時間の間で検討した結果、ナイモウオウギ種子においては硬実打破効果や発芽に影響は認められなかったが、硬実性を示さないキバナオウギ種子においては、水を加えた直後の処理に比べ、24時間後の凍結処理では約90%の種子が腐敗し、正常な幼植物は2%にすぎなかった (Table 3)。

2. 液体窒素による急速凍結処理時間が発芽及び幼植物の生育に及ぼす影響

ナイモウオウギにおいて、10分から24時間の液体窒素による急速凍結処理が硬実打破効果、発芽及び発芽後の幼植物の生育に及ぼす影響について検討した。また、冷凍庫内 (-22°C) でゆるやかに凍結させ、17日間放置して硬実打破処理した種子に由来する幼植物についても同様に比較検討した。発芽試験において、液体窒素による -196°C での急速凍結処理及び冷凍庫による -22°C でのゆるやかな凍結処理は共に、無処理に比べ硬実打破効果が認

められたが、液体窒素による処理では、いずれの場合も子葉や胚軸に傷害が認められた幼植物 (injured seedlings) や死滅する幼植物 (killed seedlings) が高頻度で出現した (Table 4)。

一方、 -22°C でのゆるやかな凍結処理では、子葉や胚軸に傷害を受けた幼植物は殆ど認められなかった (Table 4)。液体窒素の処理時間が硬実打破及び傷害を受けた幼植物の出現頻度へ及ぼす影響を、10分から24時間の間で検討した結果、処理時間の影響は認められなかった (Table 4)。ポットによる生育試験の結果、凍結処理区の発芽は播種後3日目から一斉に認められたが、液体窒素処理区では傷害を受けた幼植物が63~68%の頻度で出現した (データ未掲載)。播種後70日目における幼植物の草丈、葉数及び地上部乾物重には、液体窒素処理区及び -22°C でのゆるやかな凍結処理区間に有意な差は認められなかったが、液体窒素処理区の根乾物重は、ゆるやかな凍結処理区に比べて明らかに劣り、子葉や胚軸に傷害を受けた幼植物の初期生育は劣ることが明らかとなった (Fig.4)。

3. 急速凍結処理温度及び時間がナイモウオウギ種子の発芽に及ぼす影響

-76°C で1時間、5時間及び24時間、 -40°C 及び -30°C で1時間、 -20°C で1時間、5時間及び24時間急速凍結を行い、 -196°C での10分、1時間及び24時間急速凍結処理、 -22°C でのゆるやかな凍結処理17日間及び無処理の場合と比較した。すべての凍結処理は硬実打破に効果が認められたが、凍結温度が低下するほど傷害を受けた幼植物の出現頻度は増加し、傷害苗の増加は特に -76°C 以下で顕著に認められた (Table 4)。 -20°C での24時間及び -30°C での1時間の急速凍結処理を行った場合に、傷害を受けた幼植物の出現頻度が低く且つ正常個体が得られる割合が高いことが明らかとなった (Table 4)。また、 -20°C での24時間急速凍結処理を行った後解凍し、 5°C 下 (冷蔵庫内) に保存した場合、硬実打破効果は140日間は維持されることも確かめた (Fig.5)。

第3項 考察

Yasue (1966) は、 -190°C 及び -80°C による超低温処理はレンゲ種子の硬実の消去に効果的であることを報告している⁸⁰⁾。液体窒素による急速な低温処理は、ナイモウオウギ種子の

硬実打破に効果的であり、この効果は水を加えた時、即ち凍結処理によって、一層強まることが明らかとなった。本結果は、種子の周囲に形成される水の結晶が硬実打破に重要な影響を与えることを示唆している。Hamly (1932) は *Melilotus alba* 種子の吸水は、種瘤 (strophiola) を通じておこなわれることを明らかにし、硬実の種子においてもわずかであるが種瘤やへそ (hilum) を通じて水が入っていることを指摘しており¹⁴⁾、ナイモウオウギ種子において、凍結-解凍の過程で形成されたこれらの水に由来する氷の結晶が、硬い種皮の一部を破壊し、硬実を打破したものと考えられた。

しかし、凍結処理では、低温処理に比べ、子葉や胚軸に傷害が認められた幼植物や、死滅する幼植物が高頻度で出現した。子葉に傷害が認められた幼植物の播種後70日目における根乾物重は、正常な植物に比べ著しく劣ることが明らかであった。Brant et al. (1971) は、SEMによる観察から、液体窒素による硬実打破は、急激な温度差によって種皮の長形厚壁異形細胞層 (macroscleireid layer) が破壊されることによることを指摘している⁶⁾。ナイモウオウギにおいて、凍結-解凍によって生じた急激な温度差の影響が過剰となり、影響が種皮に止まらず種子の内部にまで及んだ結果、子葉や胚軸に致命的な傷害を与えたものと考えられた。

一方、 -20°C で24時間及び -30°C で1時間の急速凍結処理を行った後、急速解凍を行った場合に、傷害を受けた幼植物の出現頻度が低く、且つ正常個体が得られる割合が高まることが判明した。また、プログラムフリーザー内でメタノールによる -20°C での急速凍結処理と、冷凍庫内における -22°C でのゆるやかな凍結処理とを比べた場合、前者の方が硬実打破効果は高かった。急速凍結処理の場合、種子の周囲の水は、クライオチューブをメタノールに浸漬後5分以内に凍結することが観察されたが、ゆるやかな凍結処理の場合、バイアル瓶は冷気により徐々に冷却されるため、水が凍結するまでに35~40分要した。Sakai et al. (1975) は、冷却 (cooling) - 暖化 (warming) の過程で種子が受ける傷害の程度は、冷却-暖化の過程で生ずる細胞中の氷の結晶の大きさによることを指摘している⁶²⁾。本研究において、凍結処理によって硬実が打破され、吸水が可能となるプロセスはなお不明であるが、凍結方

法の違いが硬実打破の程度に違いを生じさせたことは明らかであり、種子の周囲または種瘤 (strophiole) や、へそ (hilum) を通じてわずかに種子内に侵入した水の、凍結の過程で形成される氷の結晶の大きさの違いが、何らかの影響を及ぼしているものと考えられる。含水量の高い種子は、急速な冷却の過程で成長する細胞内の氷の結晶 (intracellular ice crystals) のため、傷害を受けることが知られている^{62, 70, 71}。一方、硬実性を示さないキバナオウギ種子において、殆どの種子は水に浸漬後24時間以内に十分吸水し、その後の急速凍結処理により殆どの種子が死滅または傷害を受けたものと考えられた。

一般に-20℃という温度条件は、寒剤 (freezing mixture, 氷と塩類の混合物) の使用によって容易に得ることができる。寒剤を用いた急速凍結処理によって、同様な結果を得ており (データ未掲載)、硬実打破法として-20℃での急速凍結24時間、その後40℃での急速解凍処理は極めて簡便で実用的な方法である。また、本処理を行った後、5℃下 (冷蔵庫内) に保存した場合、硬実打破効果は少なくとも140日間は維持されることも判明した。これらの結果は、本処理法が栽培上実用性が高いことを示すものである。

第4項 結論

硬実打破法として急速凍結-急速解凍処理の効果を検討した結果、液体窒素による急速な低温処理は、ナイモウオウギ種子の硬実打破に効果的であり、この効果は凍結処理によって、一層強まることが明らかとなった。この理由として、急激な温度差と共に、種子の周囲または種瘤 (strophiole) や、へそ (hilum) を通じて種子内に侵入したわずかな水が、凍結の過程で氷の結晶を形成し、形成された氷の結晶が何らかの影響を及ぼして硬い種皮の一部を破壊し、硬実を打破したものと考えられた。しかし、液体窒素による急速な凍結処理では効果が過剰となり、子葉や胚軸に傷害が認められる幼植物や死滅する幼植物が高頻度で出現し、また、子葉に傷害が認められた幼植物の播種後70日目における根乾物重は、正常な植物に比べ有意に劣ることが判明した。そこで、-20℃から-196℃までの間での凍結温度及び処理時間の影響について検討した結果、凍結温度が低下するほど傷害を受けた幼植物の出現

頻度は増加し、傷害苗の増加は特に-76°C以下で顕著に認められ、-20°Cでの急速凍結24時間、その後40°Cでの急速解凍処理による傷害を受けた幼植物の出現頻度は低く、且つ正常個体が得られる割合が高いことが明らかとなった。また、本処理を行った後、5°C下に保存した場合、硬実打破効果は少なくとも140日間は維持されることも判明し、本処理法は、硬実打破法として安全且つ簡便で実用性が高く、ナイモウオウギの栽培生産化に貢献しうるものであると考えられた。

Table 3 Effect of rapid cooling and freezing treatment by liquid nitrogen and duration of soaking the seeds in water before they were rapidly frozen with water at -196°C by liquid nitrogen for one hour on germination.

Freezing condition	Normal seedlings (%)	Injured seedlings (%)	Killed seedlings (%)	Rotten seeds (%)	Impermeable seeds (%)
Duration of soaking in water					
<i>Astragalus mongholicus</i>					
Without water (cooling)					
	26.6 ± 6.42 ^{ab}	21.4 ± 6.42 ^b	7.4 ± 4.62 ^{bc}	10.6 ± 8.08 ^c	34.0 ± 4.00 ^b
With water (freezing)*					
0 h	30.0 ± 7.22 ^a	38.0 ± 12.48 ^a	18.0 ± 6.92 ^{ab}	6.0 ± 5.31 ^c	8.0 ± 1.00 ^{cd}
5 h	20.6 ± 9.44 ^{ab}	30.6 ± 7.58 ^{ab}	28.6 ± 5.04 ^a	18.0 ± 5.30 ^c	5.3 ± 3.05 ^d
24 h	24.0 ± 7.22 ^{ab}	29.4 ± 9.02 ^{ab}	25.4 ± 8.08 ^a	10.0 ± 5.30 ^c	11.2 ± 2.30 ^c
Non-treated	17.4 ± 4.16 ^{bc}	0.6 ± 1.16 ^c	2.0 ± 2.00 ^c	6.6 ± 5.04 ^c	73.2 ± 2.30 ^a
<i>Astragalus membranaceus</i>					
With water (freezing)*					
0 h	10.0 ± 3.46 ^{cd}	22.6 ± 7.02 ^b	23.4 ± 9.02 ^a	38.0 ± 18.34 ^b	6.0 ± 2.00 ^d
24 h	2.0 ± 1.16 ^{cd}	1.3 ± 1.16 ^c	0 ^c	90.6 ± 3.06 ^a	6.0 ± 2.20 ^d
LSD(0.05)	10.4	12.8	10.9	16.2	5.1

Note: Normal and injured seedlings are shown in Fig.3. Data were scored at day 17 after the seeds were placed on the moist filter paper. Values represent the mean of 3 replications (50 seeds) ± SD. Values with different small letters are significant different from each other at 5% level by LSD test. *; duration of soaking the seeds in water before they were rapidly frozen at -196°C for one hour.



Fig. 3 Injury to Cotyledon and Hypocotyl Caused by Rapid Freezing Treatment to the Seeds at -196°C by Liquid Nitrogen for 1 h Followed by Rapid Thawing in *Astragalus mongholicus* Bunge. Cut and slash on cotyledons are observed (center). Cotyledons and radicles are separate in hypocotyl (right). Bar represents 1 cm.

Table 4 Effects of rapid and slow freezing with water under various low temperatures and durations followed by rapid thawing on germination of *Astragalus mongholicus* Bunge

Freezing condition Duration of freezing	Normal seedlings (%)	Injured seedlings (%)	Killed seedlings (%)	Rotten seeds(%)	Impermeable seeds (%)
Rapid freezing (-20 °C)					
1 h	54.6 ± 2.30 ^b	0.6 ± 1.16 ^d	3.4 ± 1.16 ^b	4.0 ± 2.00	36.6 ± 4.62 ^{cd}
5 h	63.4 ± 5.04 ^{ab}	1.4 ± 2.30 ^d	4.0 ± 4.00 ^b	5.4 ± 6.12	26.0 ± 7.22 ^{def}
24 h	73.4 ± 4.16 ^a	2.0 ± 2.00 ^d	4.6 ± 4.16 ^b	4.0 ± 2.00	14.6 ± 5.04 ^f
Rapid freezing (-30 °C)					
1 h	70.0 ± 8.72 ^{ab}	4.0 ± 2.00 ^{cd}	4.0 ± 1.12 ^b	4.6 ± 1.16	17.4 ± 6.42 ^f
Rapid freezing (-40 °C)					
1 h	60.6 ± 2.30 ^{ab}	6.6 ± 3.06 ^{bcd}	1.4 ± 2.30 ^b	5.4 ± 1.16	26.6 ± 3.06 ^{def}
Rapid freezing (-76 °C)					
1 h	32.6 ± 4.16 ^c	14.6 ± 5.04 ^b	5.4 ± 1.16 ^b	2.6 ± 1.16	44.6 ± 5.78 ^{bc}
5 h	30.6 ± 16.16 ^c	12.0 ± 3.46 ^{bc}	4.0 ± 2.00 ^b	1.4 ± 2.30	52.0 ± 16.00 ^b
24 h	26.6 ± 3.06 ^c	15.4 ± 5.04 ^b	3.4 ± 2.30 ^b	2.6 ± 3.06	52.0 ± 4.00 ^b
Rapid freezing (-196 °C)					
10 min	29.6 ± 5.02 ^c	29.4 ± 6.42 ^a	16.6 ± 2.30 ^a	3.6 ± 1.16	21.0 ± 4.22 ^{ef}
1 h	29.4 ± 6.12 ^c	28.0 ± 8.72 ^a	18.6 ± 4.16 ^a	6.0 ± 2.00	18.0 ± 5.30 ^f
24 h	25.4 ± 8.08 ^c	32.4 ± 7.02 ^a	12.9 ± 4.16 ^a	5.6 ± 1.16	23.7 ± 5.06 ^{def}
Slow freezing (-22 °C)					
17 days	56.0 ± 3.46 ^b	6.6 ± 3.06 ^{bcd}	2.0 ± 1.16 ^b	2.0 ± 2.00	33.4 ± 3.06 ^{cde}
Non-treated	19.4 ± 3.06 ^c	0.6 ± 1.16 ^d	0.6 ± 1.16 ^b	2.0 ± 2.00	77.4 ± 3.06 ^a
LSD(0.01)	15.8	9.9	7.1	NS	14.4

Note: Data were scored at day 16 after the seeds were placed on the moist filter paper. Values represent the mean of 50 seeds with 3 replications ±SD. Values with different small letters are significant different from each other at 1 % level by LSD test.

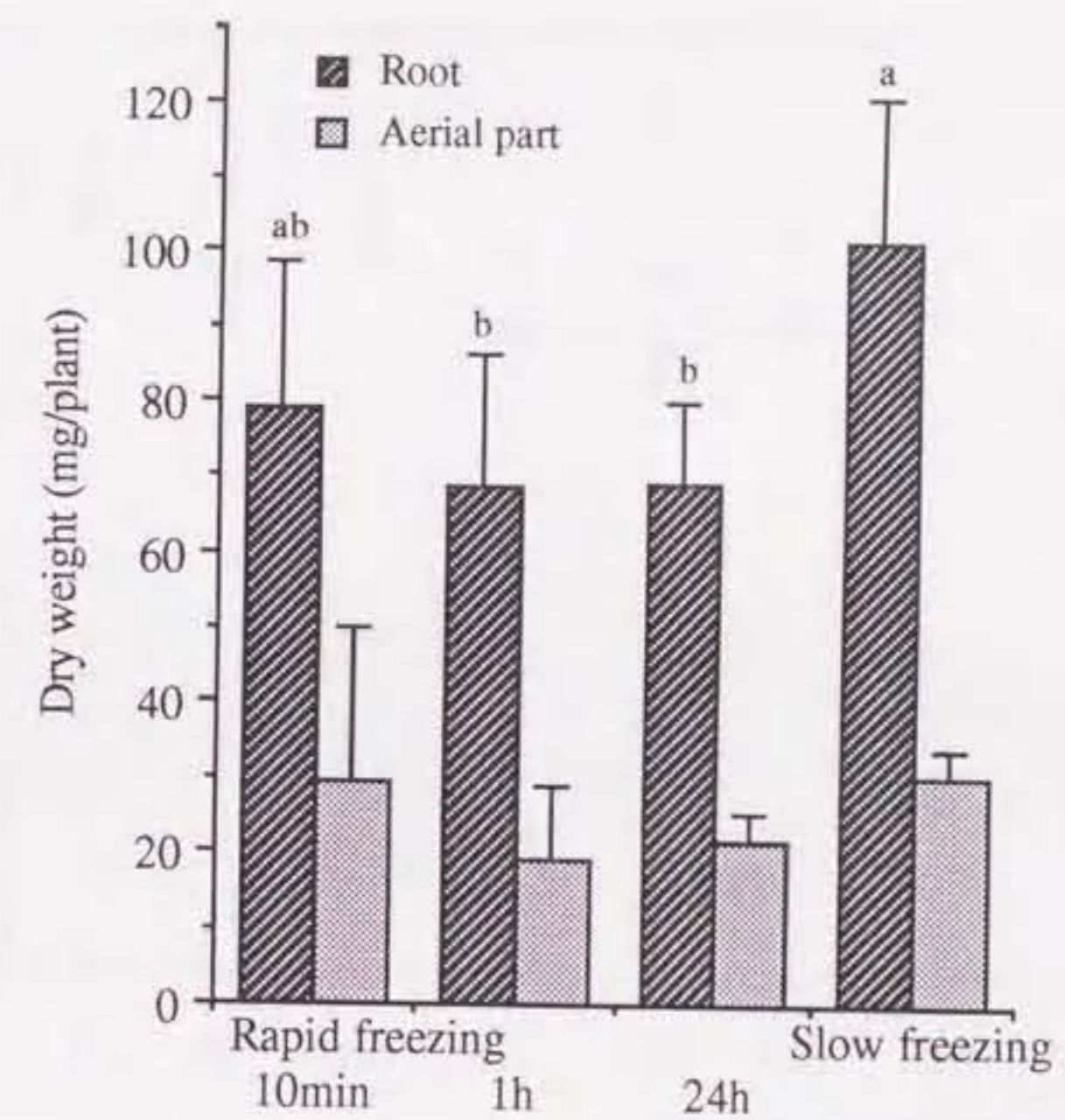


Fig. 4 Effect of Duration of Rapid Freezing Treatment to the Seeds of *Astragalus mongholicus* Bunge on Dry Weight of the 70-day-old Seedlings.

Seeds were rapidly frozen with water at -196°C by liquid nitrogen for 10 min, 1h and 24 h followed by rapid thawing. Slow freezing; slowly frozen with water at -22°C in a deep freezer for 17 days. Fifty plants each were harvested at day 70 after the seeds were sown in the pots. Different small letters in graph are significantly different from each other at 5 % level by LSD test (LSD: 16.2). Bars represent SD.

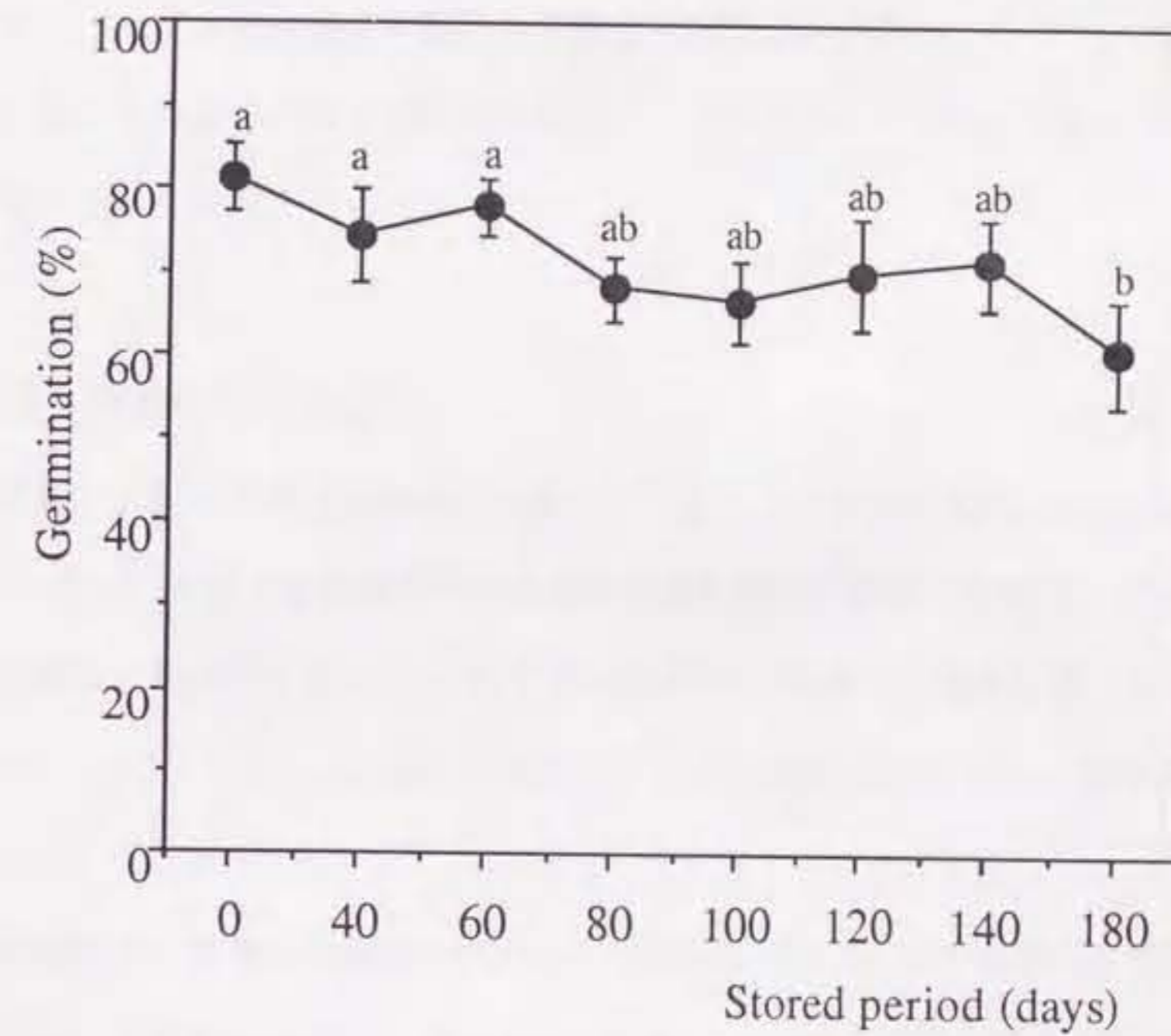


Fig. 5 Effect of Stored Period after Rapid Freezing and Rapid Thawing on Germination Percentage of *Astragalus mongholicus*.

Seeds were rapidly frozen at -20°C for 24 h. After rapid thawing and then drying in the room, seeds were stored at 5°C in petri dish. Each data was scored at day 17 after seeds were placed on the moist filter paper. Fifty seeds (3 replications) were used. Different small letters represent significant difference from each other at 5% level by LSD test (LSD; 13.6). Bars represent SD.

第3節 湛水処理がナイモウオウギの根群形成に及ぼす影響

多年草であるナイモウオウギやキバナオウギは地下部に太い主根を形成し、主根は地下深く伸長する。一般に、主根が障害を受けたり生長が抑制された場合、分枝根の発生が高まることが指摘されている^{59a)}。しかし、多年生の双子葉植物の主根と分枝根の生育に関する研究は少なく、地下水位の高さや施肥の影響など不明な点が多い。そこで、根箱を用いて、生育初期における湛水処理ならびに施肥位置が、ナイモウオウギ根の生育及び分枝根発生に及ぼす影響について検討を行った。

第1項 実験材料及び方法

1. 材料：大阪大学薬用植物園から導入したナイモウオウギ *Astragalus mongholicus* Bunge 種子 (No.12105) を国立衛生試験所北海道薬用植物栽培試験場 (名寄市) で栽培し、3年生の株から採取した種子を用いた。-22℃で30日間凍結処理して硬実打破した種子を、直径25cmのペトリ皿中の湿ったろ紙上に置床し、25℃の恒温器中に置き、発根直後の種子を播種した。

2. 根箱による湛水処理試験：縦25cm、幅2cm、深さ40cmの透明な合成樹脂製で、一側面が取り外し可能な根箱に³²⁾、化成肥料(窒素：リン酸：カリ=12：8：10) 2.0gを混合した風乾壤質砂土2.6kgを充填した(容積重1.3g/cm³)。1991年6月13日に根箱を水中に浸漬する方法で30分間灌水した後、発根直後の種子を一箱につき約6cm間隔で3粒ずつ播種した。根箱はガラス室内の地中に設けたコンクリート槽内に置き、外部からの光を遮断して伸長する根が暗状態となるように管理した。灌水は毎週1回播種時と同様の浸漬法によって行った。播種後(発根後)1週間(W1)、2週間(W2)及び4週間目(W4)に、地上部の生育の揃った3箱ずつを供試し、深さ20cmの水位の水槽に48時間浸漬して過湿状態とし、湛水処理を行った。処理後はコンクリート槽に戻した。1991年9月12日(発根後91日目)に根箱の側面を取り外し、ピンボード法³²⁾によって根をできるだけ傷めないように流水

で土砂を取り除き、根系を採取した (Fig. 6)。その後、地上部と地下部に切り分け、FAA (ホルマリン1:氷酢酸1:70%エタノール18の混合液) 中に固定、保存した。一部の発芽直後の種子についても同様にFAA中に固定、保存した。

3. 根箱による肥料試験: 湛水試験と同様の根箱を用い、化成肥料(窒素:リン酸:カリ=12:8:10) 1.5gを混合した風乾壤質砂土2.6kgを充填した(容積重1.3g/cm³)。別に化成肥料(窒素:リン酸:カリ=12:8:10) 0.5gを、根箱の地表面から5cm (F5) 及び20cm (F20) の位置に帯状に施し、種子の直下に多肥の土層を設けた。両区とも各3箱を供試し、1991年6月13日にたん水試験に準じて播種、管理した後、1991年9月12日(発根後91日目) にピンボード法を用いて試料を採取し、固定、保存した。

4. 主根の伸長量の観察: 内径5cm、高さ50cmの透明なアクリル円筒の底を寒紗で覆い、化成肥料(窒素:リン酸:カリ=12:8:10) 1.0gを混合した風乾壤質砂土1.3kgを充填した(容積重1.3g/cm³) 6本の円筒を供試し、1991年6月13日に、アクリル円筒を水中に浸漬する方法で30分間灌水した後、発根直後の種子を一円筒につき1粒ずつ、アクリル壁のきわに播種した。アクリル円筒を外部の光から遮断するため、内径13cm、高さ50cmの不透明塩化ビニール製円筒内に入れ、15度の傾斜を与えて立てかけた。播種後1~2日毎に30日間、透明アクリルの壁面に現われる主根の先端を油性ペンでマークし、伸長速度を経時的に測定した。

5. 調査: FAA中に固定、保存した試料について、草丈、主根長、根頭径及び主根上の位置別(地表面からの深さ)の1次側根(主根に着生している側根)数を調査した。1次側根については、根元の直径によって4つのクラスに分類(A~D, Table 5)し、1次側根数及び2次側根以上の高次の側根の発生状況を観察した。発芽直後の幼根、無処理区の主根及び分類した4つのクラスの1次側根の内部形態について、常法によりパラフィン切片を製作し、デラフィールドのヘマトキシリンで染色後、鏡検及び写真撮影を行なった。

第2項 実験結果

1. 湛水及び施肥位置が生育に及ぼす影響 (Table 6)

播種後1週間目に湛水処理を行ったW1区では、草丈、主根長ともに無処理区に比べて劣った。特に根頭径及び1次側根数は著しく劣り、無処理区に対し有意な差が認められた。2週間目に湛水処理を行ったW2区では、1次側根数は無処理区に比べ著しく劣り、有意な差が認められたが、4週間目に処理を行ったW4区では、無処理区との間に有意な差を認めなかった。一方、肥料処理の影響は、湛水処理に比べて顕著ではなく、無処理区との間に有意な差は認められなかったが、地表面から5cmに肥料を施したF5区において、主根長や根頭径が無処理区に比べやや劣る傾向がみられた。

2. 主根長の経時変化 (Fig. 7)

主根は発根直後から伸長が著しく、発根後7日目で約12cm、14日目で20cm、28日目では約37cmに達し、発芽後30日以内では主根長は直線的に増加した。1次側根は、日数の経過とともに、主根の基部から根端に向かって繰り返して発生することが観察された。

3. 主根の内部形態

発根直後における幼根は、内皮や皮層が明瞭であった (Fig. 8) が、発根後91日目の主根では、最外層はコルク層からなり、形成層が明瞭で肥大生長が行われていることが明らかであり (Fig. 9)、また、木部繊維や師部繊維が明瞭で皮部も良く発達していた。

4. 1次側根の太さによる内部形態の比較

それぞれの根基部の直径に基づき1次側根をA~Dに分類し (Table 5)、それらの内部形態を比較した。クラスA及びBでは、内皮が明瞭で発芽直後の幼根の形態に酷似していた (Fig. 8, 10-A, B)。一方、クラスCでは、形成層が明らかに認められ (Fig. 10-C)、クラスDでは、最外層はコルク化して皮部が発達し、木部繊維も明瞭で、発根後91日目の主根とはほぼ同じ内部形態を示した (Fig. 9, 10-D)。

5. 湛水処理が1次側根の発生に及ぼす影響 (Table 7)

根径が大きく、高次の側根を発生する側根C及びDは、W1区では地表面下5~15cmに、W2区では10~25cmに、W4区では20~25cmの主根軸の位置にそれぞれ、比較的多く発生することが認められた。これらの位置は、処理時の主根軸の根端生長点の位置とはほぼ一致した。一方、無処理区ではそれらの発生位置には明らかな傾向は認められず、主根軸0~30cm

の全般にわたって認められた。

6. 施肥位置が1次側根の発生位置に及ぼす影響

全般に施肥位置が1次側根数の発生位置に及ぼす影響は明瞭には認められず、無処理区と同様の傾向であった（データ未記載）。

第3項 考察

一般に植物の根系は、多くの不定根とそれから発生する側根からなる単子葉植物型と、形成層の活動により肥大生長する主根とそれから発生する側根により形成される双子葉植物型に大別される^{59b)}。田中(1877)はマメ科作物の根系について、1次側根（分枝根）の発根習性および種子根（主根）の肥大生長特性によって3つの型に分類（エンドウ型、ダイズ型及びアルファルファ型）し、1次側根の発根習性と主根の肥大生長特性の間には密接な関連があることを述べている⁷⁵⁾。多年生のマメ科植物である本種は主根の肥大が著しく、主根の基部から根端に向かって1次側根の発根がくり返し行われるアルファルファ型に属することが観察された。

3ヶ月の生育期間中、発芽後1週、2週及び4週目に、それぞれ48時間湛水状態（過湿処理）においたナイモウオウギの生育及び分枝根の発生を比較した結果、根径が太く、高次の側根を発生する1次側根CおよびDは、湛水処理時期が遅れるほどその発生位置が下方へ移行することが認められた。1次側根CおよびDの内部形態を比較した結果、主根とほぼ同じ内部形態を示し肥大成長をしていることが認められた。すなわち、主根とほぼ同じ内部形態を示す太い1次側根が、主根長の経時的な観察から求めた湛水処理時の推定主根長の位置に多く認められたことは、土壤の過湿状態が太い1次側根の発生に密接に関わっていることを示唆するものである。

Russell(1981)はオオムギにおいて、種子根を人為的に切除するとその補償作用として、分枝根の発生が有意に増加することを指摘しているが^{59b)}、本実験においても、過湿処理によって主根先端部が障害を受けたことに対する補償作用として、太い1次側根が過湿処理時

の根端近傍に多く形成されたものと考えられる。この処理の影響は生育の初期ほど大きく、1週間目処理では草丈及び根部の生育が著しく劣り、個体による主根長の変異も著しく大きかった。主根の長さは発芽後直線的に増加し、初期の伸長はきわめて旺盛であることから、発芽直後から生育初期の栽培環境が、本種の栽培上重要であることを示唆するものである。

一方、施肥の位置の影響については、地表から5cm及び20cmの位置に化成肥料の層を設けて比較したが、太い分枝根の発生数との間に明らかな関係は認められなかった。

第4項 結論

根箱(縦25cm × 幅2cm × 深さ40cm)を用いて、播種後1, 2, 4週目における48時間の湛水处理が、根の生育に及ぼす影響を調査した。また、播種時に地表面から5cm及び20cmの位置に化成肥料(N:P:K=12:8:10)を施し、多肥料の層を設定し、肥料の影響を同様に調査した。その結果、主根とほぼ同じ内部形態を示す太い1次側根は、主根長の経時的な観察によって得られた湛水处理時の推定主根長の位置に多く認められ、過湿処理によって主根先端部が障害を受けたことに対する補償作用として、太い1次側根が湛水处理時の根端近傍に多く形成されたものと考えられた。本結果は、土壌の過湿状態が太い1次側根の発生に密接に関わっていることを示唆するものである。圃場における直播栽培において、移植栽培と同様に著しい分枝根の発生が認められるのは、栽培圃場の排水不良または地下水位レベルによる生育初期の主根先端部の障害が、一要因と推察された。従って、主根が地中深く伸長する本種の栽培にあたっては、圃場の選定に注意が必要であると結論された。一方、肥料の施用位置と太い1次側根の発生位置との間には、明らかな対応関係は認められず、主根の伸長や分枝根の発生には肥料の直接的な影響は認められなかった。

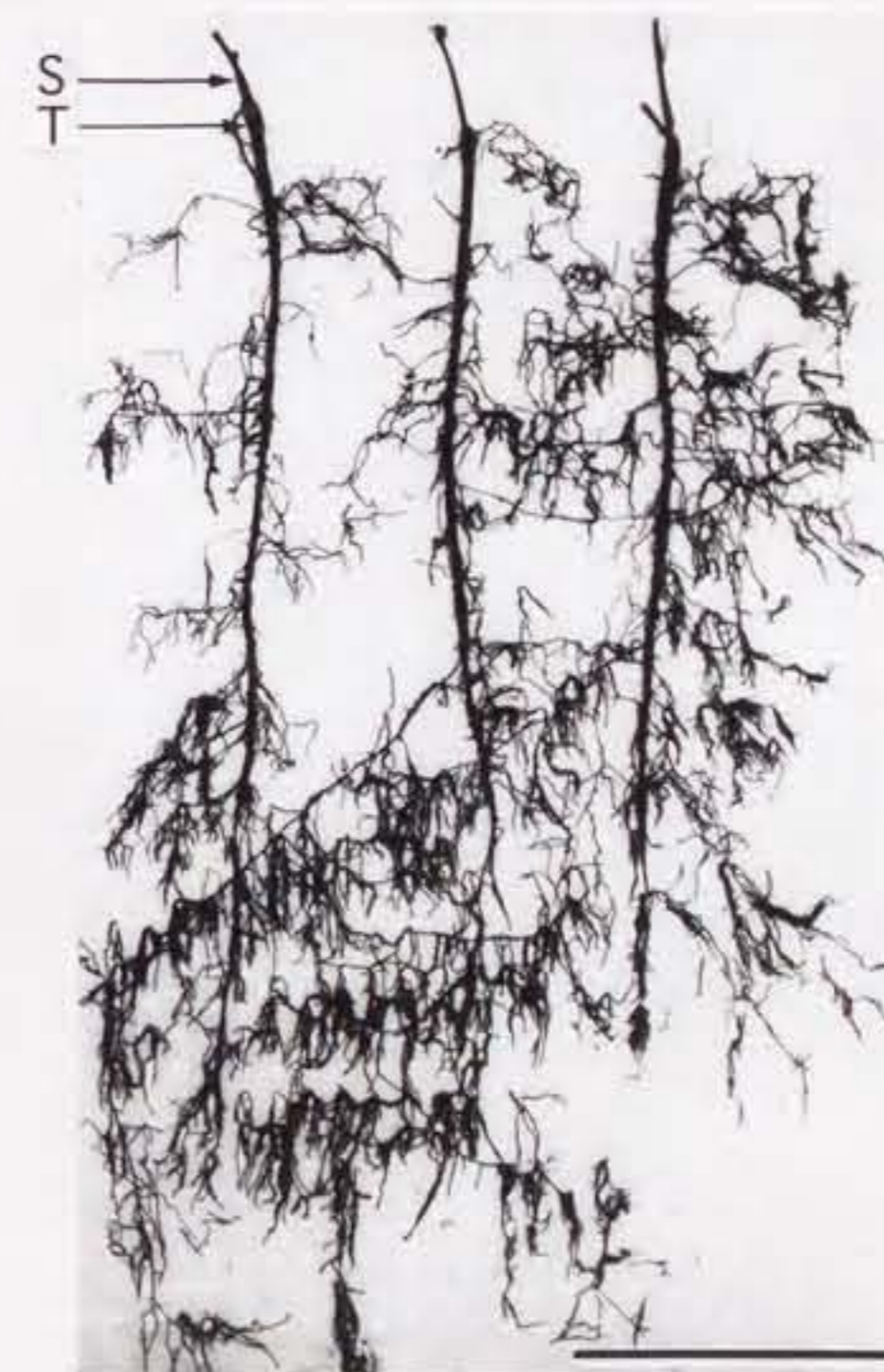


Fig. 6 Root System Profile of the 91-day-old Plants of *Astragalus mongholicus* Bunge Cultivated in Root Box
S, stem ; T, tap root. Bar represents 10 cm.
Pregerminated seeds were sown in root box (25 cm length \times 2 cm width \times 40 cm depth in the inner space) filled with 2.6 kg of air-dried loamy sand soil with 2.0 g of compound fertilizer (N: P: K= 12: 8: 10) on June 13, 1991. Plants were harvested on September 12, 1991.

Table 5 Classification of the 1st Order Lateral Roots on the Basis of Diameter in Proximal Portion of Roots

Classes	Root diameter (mm)	The highest order lateral roots observed
A	0.35>	No-formation
B	0.35-0.40	Second order
C	0.41-0.60	Third order
D	0.61-1.50	Fifth order

Table 6 Effects of the Treatments of Short Period Water-logging and Fertilizer Application on Growth of *Astragalus mongholicus* Bunge Cultivated in Root Box.

Plots	Plant height (cm)	Tap root length (cm)	Diameter of tap root (mm)	Number of 1st order lateral roots	Number of plants examined
Non-treated	35.0 ± 7.5	29.7 ± 4.8	4.9 ± 0.5	132.3 ± 48.2	4
Water-logging treatment ¹⁾					
W 1	29.3 ± 12.0	20.7 ± 10.6	3.3 ± 0.5**	59.5 ± 27.0*	6
W 2	34.7 ± 4.1	27.0 ± 3.8	4.4 ± 0.4	88.6 ± 16.0*	7
W 4	34.7 ± 5.8	23.3 ± 1.5	4.3 ± 0.9	124.7 ± 25.0	3
Fertilizer treatment ²⁾					
F 5	34.3 ± 8.2	23.4 ± 7.8	3.7 ± 1.0	107.3 ± 43.0	6
F 20	39.2 ± 11.6	32.3 ± 3.0	4.5 ± 1.1	110.4 ± 16.5	5

1): The treatments were done by soaking root boxes in the tank filled with water to the 20 cm in depth for 48 hours at weeks 1 (W1), 2 (W2) and 4 (W4) after sowing.

2): The treatments were done by applying 0.5g of compound fertilizer (N: P: K=12: 8: 10) in 5 cm depth from soil surface in the root box (F 5) and 20 cm depth (F20) as a basal dressing.

Each value represents the mean ± standard deviation. * and ** represent significant difference from non-treated plot at 5 % and 1 % level by *t*-test, respectively. Pregerminated seeds were sown on June 13, 1991 and plants were harvested on September 12, 1991.

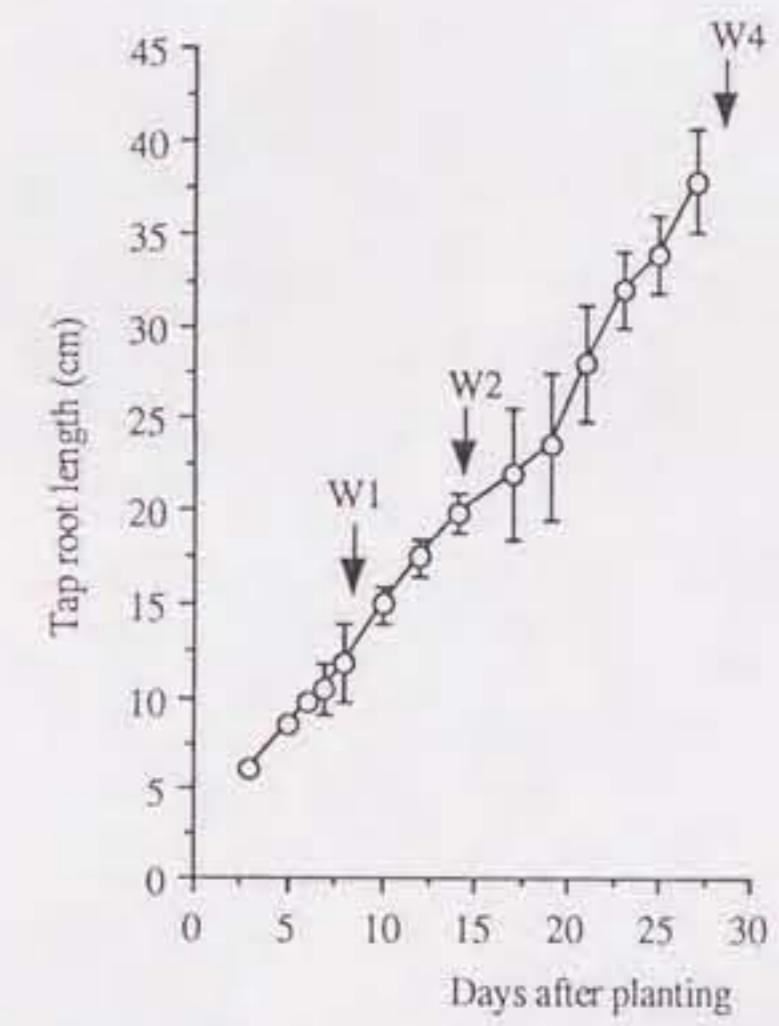


Fig. 7 Changes of Tap Root Elongation Cultivated (No Water-Logging Treatment) in Acrylic Cylinder (5 cm ϕ \times 50 cm Height)

Pregerminated seeds were sown on June 13, 1991 and position of root tip was observed throughout acrylic wall every other day. Data show the mean \pm standard deviation. Arrows indicate the day water-logging treatments were done.

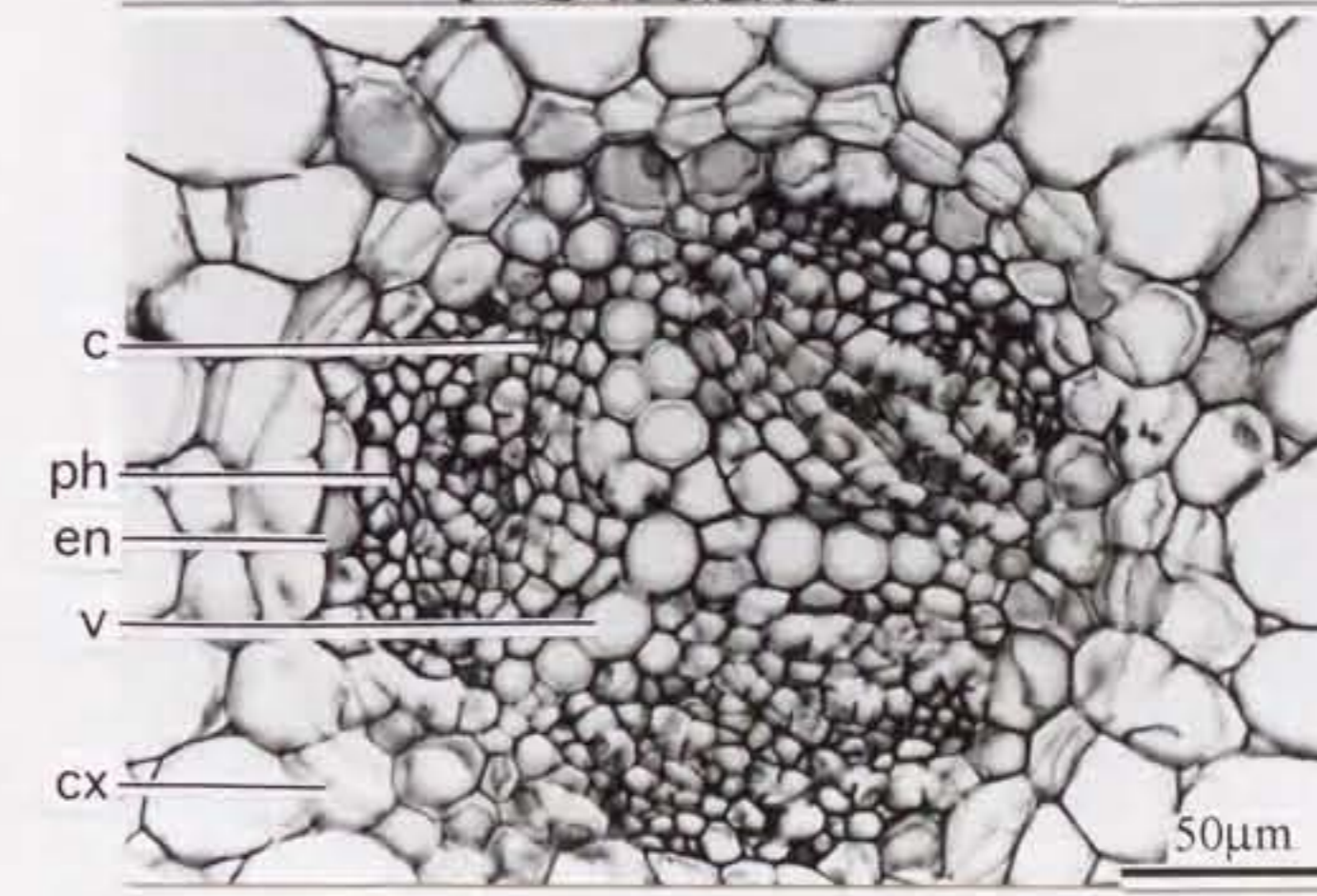
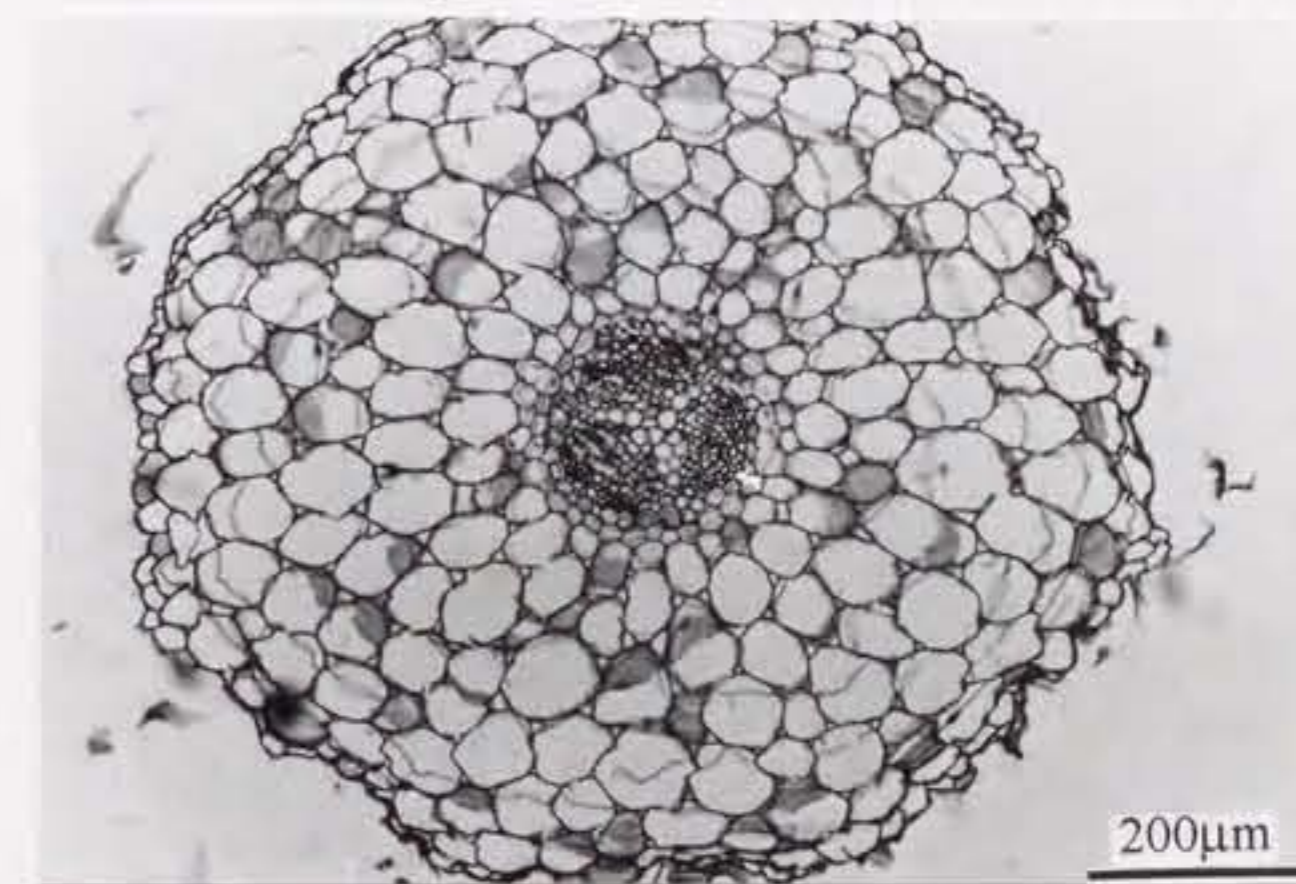


Fig. 8 Transverse Sections of Radicles of the 2-day-old Plant
Abbreviations : c, cambium ; cx, cortex ; en, endodermis ;
ph, phloem ; v, vessel.

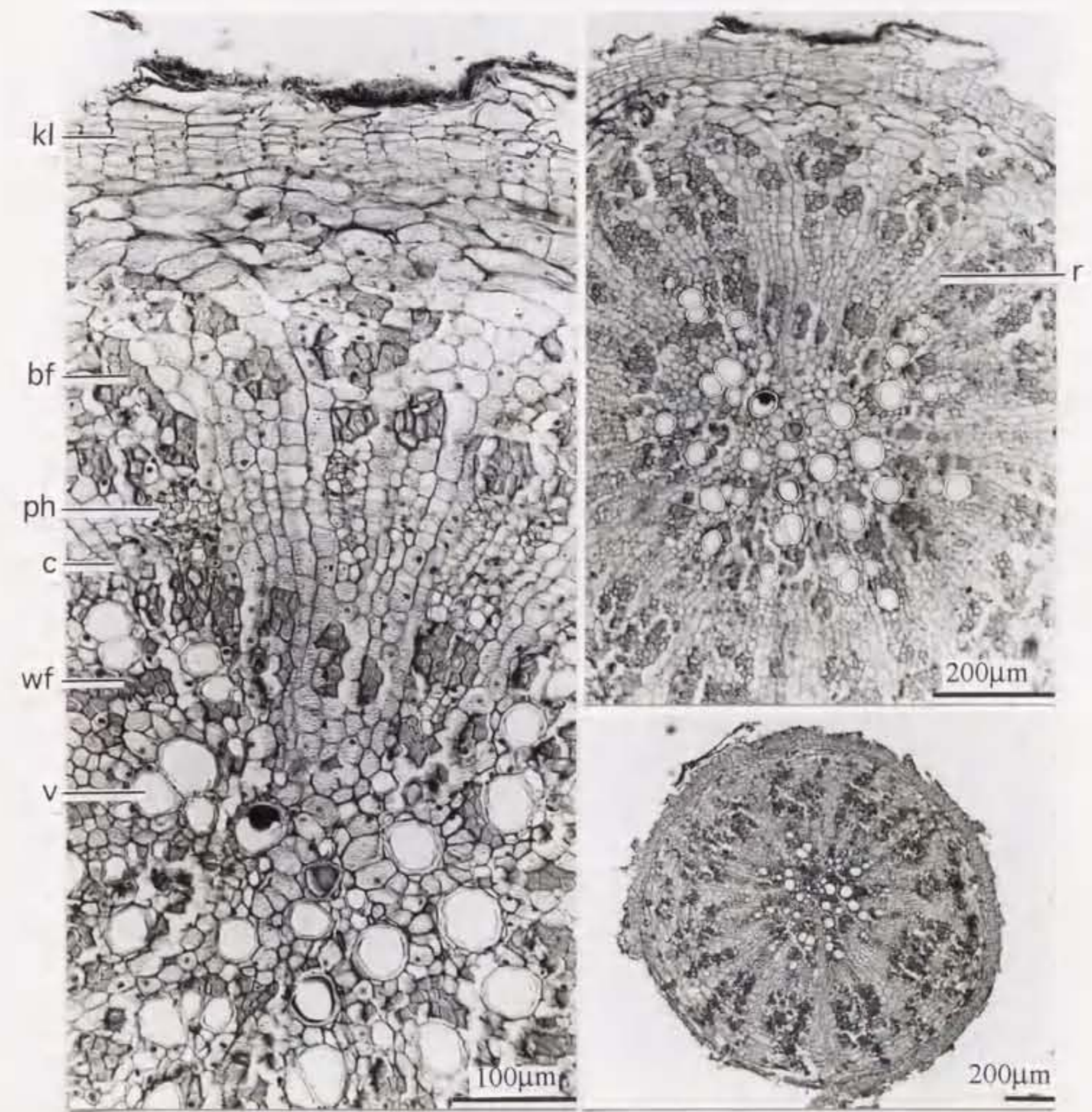


Fig. 9 Transverse Sections of Tap Root (central portion) of the 91-day-old Plant
 Abbreviations : bf, bast fibre ; c, cambium ; kl, cork layer ; ph, phloem ; r, ray ; v, vessel ; wf, wood fibre.

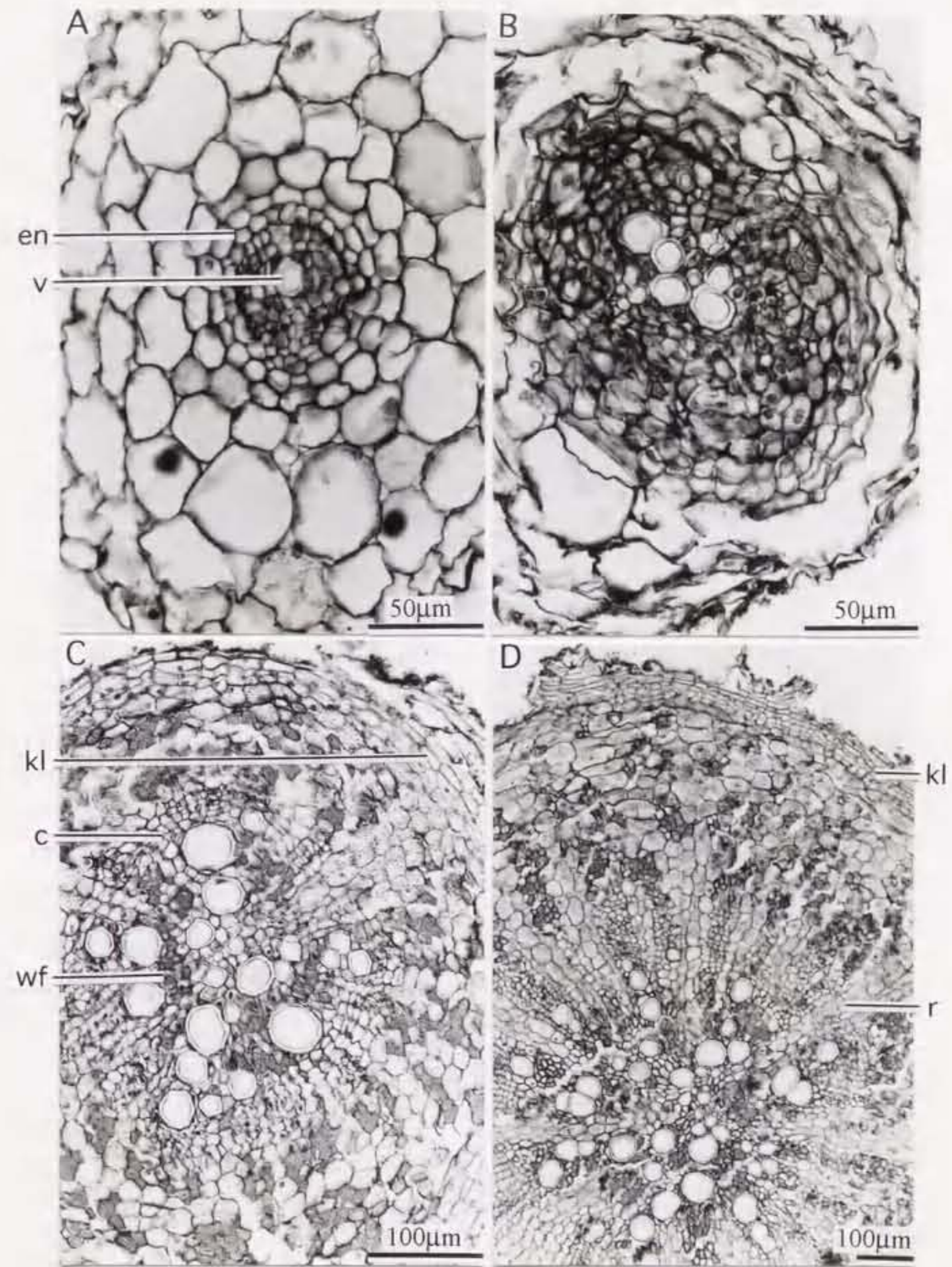


Fig.10 Transverse Sections of the 1st Order Lateral Roots (Proximal Portion) of the 91-day-old Plant
 A, B, C and D are classified on the basis of diameter in proximal portion of root. Details are shown in Table 5.
 Abbreviations : bf, bast fibre ; c, cambium; cx, cortex ; en, endodermis ; kl, cork layer ; ph, phloem ; r, ray ; v, vessel ; wf, wood fibre.

Table 7 Effects of Short Period Water-logging Treatment on the of Number of the 1st Order Lateral Roots Developed

Position of tap root from soil surface (cm)	Total	Classes of the 1st order lateral roots			
		A ¹⁾	B	C	D
Non-treated (n=4) ²⁾					
0-5	20.3±10.0	16.0±5.1	2.8±3.8	1.5±1.7	0
5-10	25.8±7.7	19.0±7.1	4.8±2.6	1.8±2.1	0.3±0.5
10-15	28.0±15.7	16.8±13.8	9.0±5.7	2.3±1.7	0
15-20	30.8±16.7	20.5±11.1	7.8±5.1	2.0±2.3	0.5±1.0
20-25	12.8±9.6	8.5±7.5	2.5±2.4	1.3±1.3	0.5±1.0
25-30	10.8±11.9	7.0±9.1	2.8±3.2	0.8±1.0	0.3±0.5
30<	3.8±5.2	2.0±2.8	2.0±1.8	0	0
W1 (n=6)					
0-5	13.3±3.5	10.3±3.1	1.8±1.5	1.0±1.6	0.2±0.4
5-10	17.0±6.1	11.0±4.3	4.5±1.5	1.2±0.8	0.3±0.5
10-15	10.2±9.5	6.5±6.1	2.5±2.2	0.8±1.3	0.3±0.5
15-20	5.8±6.9	4.5±5.5	0.8±1.3	0.2±0.4	0.3±0.5
20-25	5.2±6.1	3.7±4.6	0.8±1.3	0.7±1.2	0
25-30	5.2±7.0	4.2±5.2	1.3±2.3	0	0
30<	2.8±4.4	2.3±3.7	0.5±0.8	0	0
W2 (n=7)					
0-5	8.1±3.3	6.9±2.0	1.0±1.3	0.3±0.5	0
5-10	21.4±4.3	14.1±4.6	6.6±2.1	0.7±0.8	0
10-15	22.4±7.0	15.4±6.7	6.0±1.6	1.0±1.2	0
15-20	20.6±6.7	14.0±6.8	4.4±1.6	0.9±1.1	1.3±1.0
20-25	9.9±7.1	7.1±5.4	1.6±1.8	1.0±1.7	0.1±0.4
25-30	5.4±6.5	3.9±4.4	1.0±1.4	0.6±1.1	0
30<	0.7±1.9	0.1±0.4	0.6±1.5	0	0
W4 (n=3)					
0-5	12.0±3.6	10.7±5.0	1.3±1.5	0	0
5-10	27.3±7.1	20.7±4.9	6.0±3.6	0.7±0.6	0
10-15	33.7±6.0	24.7±2.3	8.3±6.0	0.7±1.2	0
15-20	31.3±2.3	23.3±3.8	5.3±2.9	1.3±1.5	1.3±1.5
20-25	17.7±13.7	10.3±7.4	2.3±3.2	3.0±2.7	2.0±1.7
25-30	2.7±4.6	1.7±2.9	0.3±0.6	0.7±1.2	0
30<	0	0	0	0	0

1) Details of A, B, C and D are shown in Table 5. 2) W1, W2 and W4 are the same as Table 6.

Each value represents the mean ± standard deviation.

第4節 キバナオウギ根の生育及び薬用成分に及ぼす土壌の種類の影響

キバナオウギの主根は地下深く伸長し、ナイモウオウギと同様に地下部に太い主根を形成する。砂質の土壌を好むと言われているが^{50a)}、土壌について詳細に比較検討された報告は見あたらない。また、生薬黄耆の国内での主要な生産地は岩手県、茨城県及び北海道であり^{52b)}、これらの地域における栽培圃場の主要な土壌群は、黒ボク土、褐色森林土が大部分を占めている(黒ボク土:岩手, 56.3%; 茨城, 79.2%; 北海道, 36.9%。褐色森林土:岩手, 31.9%; 茨城, 4.4%; 北海道, 15.1%。)¹¹⁾。そこで、これらの土壌型が、根の発育並びに希エタノールエキス、及び薬用成分である配糖体(イソフラボノイドI~V及びastragaloside I~IV)含量に及ぼす影響を明らかにするために、これらの土壌群を含む土性や3相組成の異なった4種の土壌を供試して比較栽培を行った。

第1項 実験材料及び方法

1. 材料: 国立衛生試験所北海道薬用植物栽培試験場(名寄市)で栽培し、3年生の株から採取したキバナオウギ *Astragalus membranaceus* Bunge 種子を用いた。
2. 栽培概要: 国立衛生試験所筑波薬用植物栽培試験場(つくば市)内に設けた縦2m, 横2m, 深さ1.5m(底なし)のコンクリート枠(4m²)に、砂(茨城県江戸崎町の山砂)、赤土(関東地方に分布する関東ロームの下層部土壌)、黒ボク土(関東ロームの上層部土壌)及び褐色森林土(筑波薬用植物栽培試験場の畑土)の4種類の異なる土壌を入れ栽培した(Table 8)。基肥として、4m²当たり化成肥料(窒素:リン酸:カリ=15:15:15)200g, 苦土石灰400gを全層に施した後、1994年4月18日、2列の畝(畝幅60cm)に6g/4m²の種子(100粒重, 0.631±0.02g)を播種した。播種後10日目から発芽が認められたため、適宜間引きを行った後、1994年6月27日に最終間引きを行い、株間を10cm(1コンクリート枠当たり40株)に揃えた。各土壌実験区当たり、3コンクリート枠を設定した。1994年12月21日に、各区から平均的な生育を示した10個体を2反復で収穫し、生育調査を行っ

た。これらを地上部と地下部とに切り分け、40℃で4日間通風乾燥して乾物重を調査した後、平均的な生育を示した9個体を選び、希エタノールエキス及び成分の分析に供した。

3. 希エタノールエキス含量：主根3個体分を1検体とし、3検体について、第十三改正日本薬局方に従い定量した^{34c)}。分析用試料2.3gに希エタノール70mlを加え、5時間振とう抽出した後、16~20時間放置し、ろ過した。ろ液が100mlになるまで残渣を希エタノールで洗い、このろ液50mlを湯浴上で蒸発乾固した。105℃で4時間乾燥した後デシケーター（乾燥剤シリカゲル）中で放冷し、重量を測定した。含水率から乾燥物に換算した試料量に対し、エキス含量（%）を算出した。

4. イソフラボノイド I~V 及び astragaloside I~IV の定量：粉碎試料3検体分を合わせ、高速液体クロマトグラフ法を用い¹⁾、以下の方法で定量した。

1) 試験溶液の調製：分析用試料2.00gをSoxhlet抽出器を用いて、メタノールで3時間抽出した。抽出液を減圧下で濃縮し、残渣にメタノール20.0mlを加えた後、超音波処理して溶液とした。この溶液の1.0mlを取り、0.45 μ mのフィルターを通し、ろ液をイソフラボノイド定量用試験溶液とした。残りのメタノール19mlを減圧下で濃縮し、残渣に水20.0mlを加えて溶液とした後、10mlのジエチルエーテルで2回抽出した。その後、水層を10mlのn-ブタノールで3回抽出し、n-ブタノール抽出液を合わせて減圧下で濃縮した。残渣に43%アセトニトリル1.0ml（内部標準物質としてl-menthol 2.5mg含有）を加えて溶解した後、0.45 μ mのフィルターを通し、ろ液をastragaloside定量用試験溶液とした。

2) イソフラボノイドの分析条件：機器；日立655型高速液体クロマトグラフ、カラム；TSK gel ODS-80TM (4.6 ϕ ×250mm)、移動相；アセトニトリル/水/酢酸 (270:730:1)、流速；1.0ml/分、カラム温度；40℃、測定波長；280および254nm（ウオーターズ490型超高感度多機能検出器）、試料注入量；10 μ l。

3) Astragaloside の分析条件：機器；日立L-6200型高速液体クロマトグラフ、カラム；Develosil ODS-5K (4.6 ϕ ×250mm)、移動相；アセトニトリル/水 (43:57)、流速；1.0ml/分、カラム温度；40℃、検出器；超高感度示差屈折計（エルマERC-7520）、試料注入量；20 μ l。

5. 供試土壌の物理性及び化学性：深さ15cmの層より採取した土壌を用いて、土性の判定はピベット法^{49a)}、可給態リン酸の定量はトルオーグ法^{49b)}に従って、それぞれ行った。3相組成は、直径5cm、長さ5cmのステンレス製サンプラー（藤原製作所製）を用いて深さ20cm及び50cmの土層から土壌を採取し、湿潤土壌の重量を測定した後、106℃で5時間乾燥して液相の割合及び仮比重を求めた。別に採取した同じ土層の土壌を用いてピクノメーターによって土壌の真比重を測定し、固相及び気相の割合を求めた⁷⁹⁾。土壌pHは、深さ15cmの層から採取した土壌10gを25mlの蒸留水で30分振とうした後、pHメーター（HORIBA F-13）を用いて測定した。土壌の3相組成調査は収穫時に、それ以外の土壌の採取はいずれも収穫直前の1994年12月1日に実施した。土壌硬度は、1994年8月25日に土壌硬度計（大起理化製 DIK-5520）を用いて、深さ80cmまでの貫入抵抗値を連続的に測定した^{49c)}。各区とも4地点を測定し、平均値をもとめた。

第2項 実験結果

1. 供試土壌の物理性及び化学性の比較

3相組成は砂土の固相割合が他の3種の土壌に比べて高く、気相及び液相の割合は低かったが、赤土、黒ボク土及び褐色森林土では、ほぼ同様の割合であった（Table 8）。また、いずれの土壌も下層部ほど固相や液相割合が増加し、気相割合が低下する傾向が認められた。土壌のpHは砂土が最も高く、褐色森林土がこれに次ぎ、赤土、黒ボク土の順で低かった（Table 8）。可給態リン酸の含量は砂土が最も高く、他の3種の土壌ではほぼ同一の値を示した（Table 8）。土壌硬度は4種の土壌ともほぼ同様の貫入抵抗値を示し、13kg/cm²以下の範囲で推移した（Fig. 11）。

2. 生育の比較（Table 9）

草丈は砂土が最も高く、褐色森林土がこれに次ぎ、他の2区の順で低くなった。主根根頭径、主根乾物重及び地下部合計乾物重は試験区間に有意な差が認められ、砂土が最も高く、褐色森林土がこれに次ぎ、赤土で最も低い値となったが、主根長、1次側根数、合計1次側

根長及び1次側根乾物重では、4種の土壤間に統計上の有意差は認められなかった。

3. 希エタノールエキス、イソフラボノイド及びastragaloside含量 (Table 10)

希エタノールエキス含量は、赤土及び褐色森林土が高く、砂土及び黒ボク土で低い値となったが、特に黒ボク土における検体間のバラツキが顕著で、4種類の土壤間に有意な差は認められなかった。イソフラボノイド含量は、生育が優れた砂土及び褐色森林土で高く、astragaloside含量は、逆に生育が劣った赤土及び黒ボク土で高くなる傾向が認められた。

第3項 考察

地上部及び地下部の生育ともに砂土が最も優れ、本種が砂質土壤を好むというこれまでの指摘^{50a)}を裏付けた。しかし、褐色森林土と同じ土性(細砂壤土)である赤土の生育が著しく劣ったこと、ならびに褐色森林土とほぼ同じ3相組成及び土壤硬度を示す赤土と黒ボク土の生育が褐色森林土に比べて著しく劣ったことは、本種の生育が、土性や土壤の物理性の影響ばかりでなく、土壤pHや栄養条件の影響も強く受けることを示唆している。本種は磷酸肥料を多く施された場合に生育が促進されることが指摘されており²⁾、本実験においても、砂土の生育が最も良好であった一つの要因として、磷酸含量が他の3区に比べて著しく高かったことが考えられた。砂土は気相の割合が最も低かったが、主根の長さや1次側根の数、合計長及び乾物重に他3種類の土壤と差が認められず、土壤の3相組成の差異は主根の伸長や分枝根の発生に反映せず、本実験の範囲内では影響が少ないと考えられた。

Astragaloside類は皮部に多く含有され、木部には少ないため、細い根ほど含量が高まることが指摘されている^{1, 2, 3)}。本実験において、主根の生育が著しく劣った赤土及び黒ボク土(両区の主根長や根頭径に大きな差はなく、乾物重が著しく劣り、従って、主根の下部はより細いものと考えられる)において、高いastragaloside類の含量が認められたことは、根の太さが反映したものと考えられる。磷酸肥料を多く施した場合に生育とともにイソフラボノイド含量が増加することが指摘されており²⁾、砂土区におけるイソフラボノイド含量が

高かった理由の一つと考えられる。

一般に、火山灰土壌においては、リン酸が土壌粒子に吸着され、可給態リン酸の欠乏を起しやすいたことが知られている²²⁾。砂土以外の3種の土壌はいずれも火山灰土壌であり、土中に残留しているリン酸量は砂土に比べいずれも著しく低かったが、褐色森林土では砂土とほぼ同程度に良好な生育を示し、イソフラボノイド含量も高くなる結果となった。本実験においては、作付前の土壌中のリン酸含量が未調査のため、褐色森林土におけるイソフラボノイド含量とリン酸肥料の施用との関係については不明であり、今後の課題である。

第4項 結論

キバナオウギの根の生育、及び薬用成分を含む希エタノールエキス及び配糖体含量に及ぼす栽培土壌の影響について明らかにするため、砂、赤土、黒ボク土及び褐色森林土の4種類の異なる土壌を用いて、コンクリート枠(4m²)内で1年間比較栽培した。その結果、砂土と褐色森林土区で良好な生育を示し、主根中のイソフラボノイド含量も高い結果となった。砂土中のリン酸含量は著しく高く、これが砂土区が良好な生育を示しイソフラボノイド含量が高かった理由の一つと考えられた。土壌の3相組成において、砂土が最も気相部割合が少なかったが、この土壌の物理性の差異は、本実験の設定範囲内では、主根の伸長と分枝根の発生に関して影響を与えなかった。

Table 8 Physical and Chemical Properties of Soil Groups Used in Experiment

Soil kinds ¹⁾	Soil texture ²⁾	Three phases distribution (%) ³⁾						pH ⁴⁾ (H ₂ O)	Phosphoric acid ⁵⁾ mg/ 100g DW	
		at 20cm depth from soil surface		at 50cm depth from soil surface		Liquid phase	Gaseous phase			
		Solid phase	Liquid phase	Solid phase	Liquid phase					
Sandy soil	S	52.1	25.2	22.7	22.7	53.2	32.5	14.3	6.3	9.2
Red soil	FSL	23.0	42.9	34.1	34.1	24.2	46.0	29.8	5.4	1.8
Ando soil	L	22.1	42.5	35.4	35.4	24.6	54.3	22.1	5.7	1.8
Brown soil	FSL	25.4	42.2	32.4	32.4	27.6	49.7	22.7	5.8	1.8

Notes: 1) Sandy soil is from upland soil in Edosaki, Ibaraki-Prefecture. Red soil is subsoil of ando soil distributed in Kanto region (Kanto loam). Brown soil is from upland soil in Tsukuba Medicinal Plant Research Station, Ibaraki-Prefecture. Red soil, Ando soil and Brown soil are all volcanic ash soil. 2) Based on particle-size distribution ; S, sand ; FSL, fine sandy loam ; L, loam. 3) Soil samples were collected on 21 Dec., 1994. Data represent the mean of two measurements. 4) Soil samples were collected at 15cm depth from soil surface on 1 Dec., 1994. 5) Available phosphoric acid (P₂O₅).
Soil samples were collected at 15cm depth from soil surface on 1 Dec., 1994.

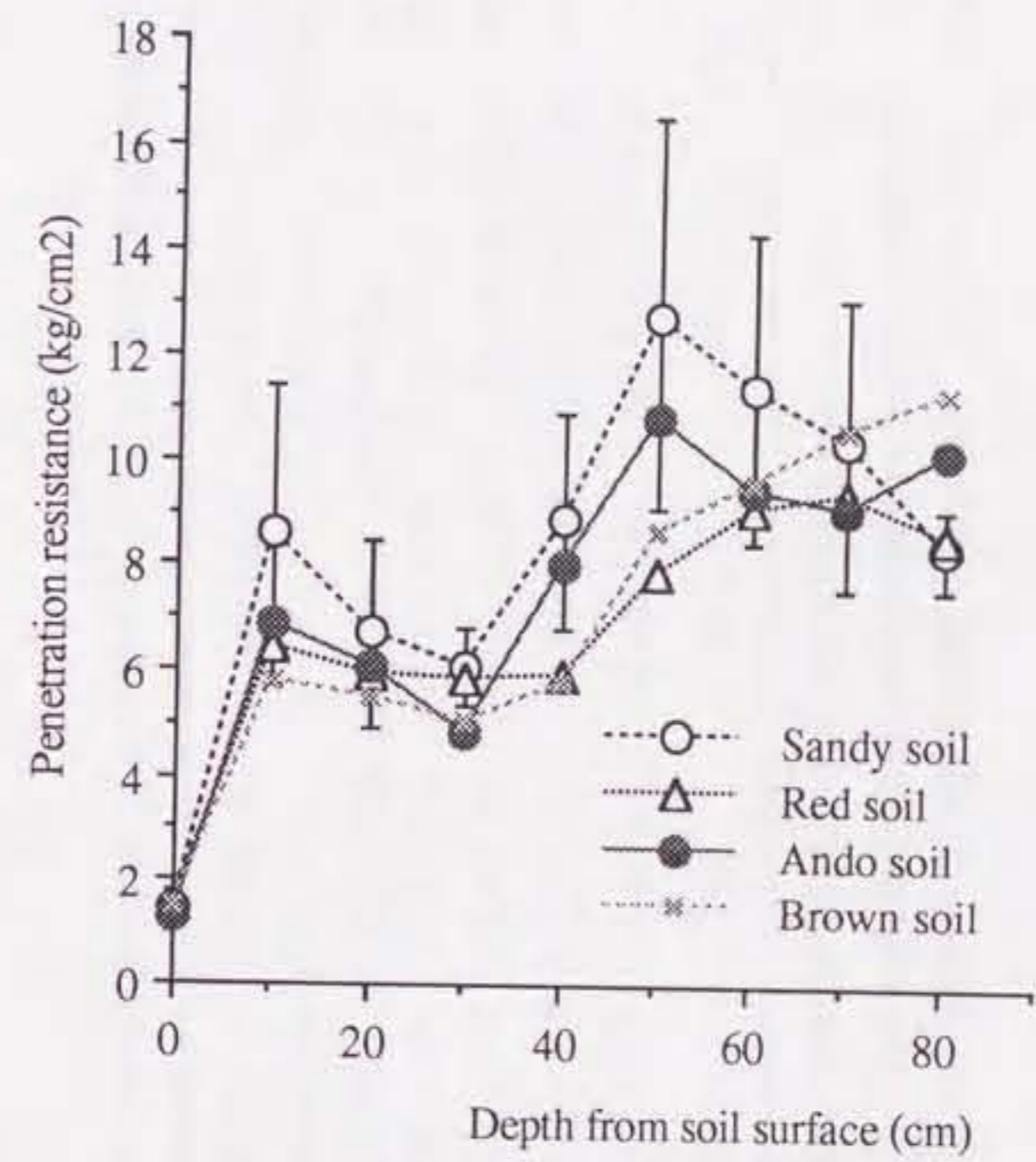


Fig. 11 Soil Hardness of Four Different Soil Groups

Soil hardness (penetration resistance) was measured using hardness tester DIK-5520 (Daiki Rika Kogyo Co., LTD) on 25 Aug., 1994. Data show the mean of 4 measurements. Bars represent SD of sandy soil plot.

Table 9 Growth of *Astragalus membranaceus* Cultivated in Different Soil Groups for One Year

Soil kinds	Plant height cm	Diameter of fresh tap root mm	Number of 1st order lateral roots ¹⁾	Tap root length cm	Total length of		Dry weight (g/ plant)	
					1st order lateral roots (cm)	Tap root	1st order lateral roots	Total
Sandy soil	84.5±8.67 ^a	11.5±1.40 ^a	2.7±1.60	38.9±11.85	21.5±18.50	5.5±1.50 ^a	0.7±0.57	6.2±1.63 ^a
Red soil	61.9±6.95 ^b	9.1±1.07 ^b	1.8±1.52	39.9±15.35	9.0±10.25	2.5±0.69 ^b	0.4±0.35	2.9±0.69 ^c
Ando soil	65.7±9.13 ^b	10.1±1.40 ^{ab}	2.2±1.20	37.5±14.00	16.2±15.38	3.0±0.96 ^b	0.6±0.54	3.6±1.04 ^{bc}
Brown soil	73.8±8.39 ^{ab}	11.3±1.20 ^a	1.7±1.60	42.9±9.44	9.1±11.01	5.1±1.40 ^a	0.3±0.38	5.4±1.39 ^{ab}
LSD(0.05)	13.6	2.08	NS	NS	NS	1.93	NS	2.02

Notes: Each value represents the mean of 20 plants ± standard deviation. Seeds were sown on 18 April, 1994 and harvested on 21 Dec., 1994. Values with different small letters represent significantly different from each other at the 5% level using LSD test. NS represents no significant difference. 1) Diameter of fresh root is more than 3 mm.

Table 10 Contents of Isoflavonoids, Astragalosides and Dilute Ethanol-soluble Extract of Tap Roots Cultivated in Different Soil Groups for One Year

Soil kinds	Dilute ethanol-soluble extract ^{a)} %	Isoflavonoids ^{b)}						Astragalosides ^{c)}				
		I	II	III	IV	V	Total	I	II	III	IV	Total
		mg/100g DW						mg/100g DW				
Sandy soil	20.1±0.68	40	6	12	38	2	98	69	45	25	23	162
Red soil	24.2±0.57	37	6	9	14	2	68	174	119	51	45	389
Ando soil	20.6±3.77	30	5	6	9	2	52	146	90	35	31	302
Brown soil	23.0±0.66	53	7	10	26	3	99	53	50	25	23	151
LSD(0.05)	NS											

Notes: a) Three dry tap roots with three replications were selected and measured. Each value represents the mean ± standard deviation. NS represents no significant difference among 4 soil kinds at 5% level using LSD test. b) Isoflavonoids: I, astraisoflavoneglucoside; II, formononetin 7-O-β-D-glucoside; III, astrapterocarpanglucoside; IV, astraisoflavanglucoside; V, astraisoflavone (calycosin). Nine dry tap roots were used for analysis. c) Nine dry tap roots were used for analysis.

第5節 キバナオウギ根の生育及び薬用成分に及ぼす土壌硬度の影響

国内でナイモウオウギ及びキバナオウギ両種を圃場栽培した場合、概して分枝根の発生・発達が著しく、直根状の根（生薬）が得られない。その原因として、ナイモウオウギを用いた実験において、栽培圃場の排水不良または高い地下水位のレベルが、生育初期の主根の先端部に障害を起し、これが一因となることを示した（第3節）。一方、キバナオウギにおいて、生育初期における栽植密度の影響を検討したが、分枝根数の抑制効果は認められなかった⁶⁶⁾。また、4種類の土壌を用いた比較栽培実験の結果、砂土では良好な生育が得られたものの、土性や土壌の三相組成の違いは、分枝根の発生・発達に直接的な影響を及ぼさないことも明らかにした（第4節）。

本節では、播種前に栽培圃場の耕耘方法を変えて土壌硬度の異なる圃場条件を作出し、土壌硬度がキバナオウギの主根の伸長及び分枝根の発生・発達に及ぼす影響、並びに得られた主根中のイソフラボノイド I～V, astragaloside I～IV 及び希エタノールエキス含量に及ぼす影響について検討を行った。

第1項 実験材料及び方法

1. 材料：国立衛生試験所北海道薬用植物栽培試験場（名寄市）で栽培したキバナオウギ *Astragalus membranaceus* Bunge 3年生の株からの採取種子（1994年10月）を用いた（100粒重、 $0.631 \pm 0.02\text{g}$ ）。

2. 圃場栽培試験：国立衛生試験所筑波薬用植物栽培試験場（つくば市）内の圃場（褐色森林土）で栽培を行った。試験区として、播種前のトレンチャー（KAWABE HS-1502, 7PS）による地下80cmまでの耕耘区（トレンチャー区）、バックホー（YAMMAR B17, 16PS）による地下約80cmまでの耕耘区（バックホー区）、トラクター（YAMMAR YM 2610, 26PS）による地下約25cmまでの耕耘区（トラクター区）、及び表層土を軽く耕起した区（無耕耘区）の4区を設定し、1区当たり50m²、合計2aの面積で行った。基肥として、10a当たり堆肥1500kg、化成肥料（窒素：リン酸：カリ=15：15：15）10kg、よう嬾

10kg, 苦土石灰100kgを全層に施した後, 1995年4月17日, 畝幅80cmに1.5kg/10aの種子を播種した。播種後10日目から発芽が認められ, 適宜間引きを行った後, 1995年6月29日に最終間引きを行い, 株間を10cmに揃えた。追肥として, 1995年6月29日と8月30日に各々化成肥料(窒素:リン酸:カリ=15:15:15) 10kg/10aを施した。

3. 土壌の物理性の測定: 1995年4月17日, 5月19日, 7月25日及び12月5日に第4節と同一の方法で, 各区の土壌硬度(貫入抵抗値)を深さ80cmまで連続的に測定した。各区共4地点の平均値をもとめた。1995年12月7日に各区の深さ20cm及び50cmの土層から土壌を採取(各区2地点より)し, 土壌の3相組成(固相, 気相, 液相)を測定した。

4. 生育調査: 1995年12月7日に各区とも, 平均的な生育を示した15個体を掘り取り, 草丈, 主根長, 根頭径, 根基部直径2mm以上の分枝根の発生数, 及び分枝根の合計長を測定した後, 40℃で4日間通風乾燥して乾燥重を調査した。

5. 希エタノールエキス, イソフラボノイドI~V及びastragaloside I~IVの定量: いずれも第4節と同一の方法で行った。乾燥重を調査した上記の主根3個体分を1検体とし, 3検体について, 希エタノールエキスは第十三改正日本薬局方により^{34c)}, イソフラボノイドI~V及びastragaloside I~IVは, 粉碎試料2gを用いて高速液体クロマトグラフ法に従って¹⁾定量した。

6. 根箱による根の伸長速度の調査: 長さ54cm, 幅49cm, 深さ1mの根箱(ステンレス製, 一側面がガラス, Fig. 12)に圃場栽培試験と同一の土壌を充填し, ガラス面のきわに播種した。その後, ガラス面に現われる根の長さ及び1次分枝根数を経時的に観察した(3個体)。供試材料及び播種日は圃場栽培試験と同一とした。

第2項 実験結果

1. 圃場の耕耘条件が生育に及ぼす影響

トレンチャー区における主根長は80cmに達したが, 他の3区においてはいずれも約40cmにとどまった。根基部の直径2mm以上の太い分枝根の形成数は, トレンチャー区の株当たり

4.9本に対し、他3区においては8.1~10.7本の形成が認められ、トレンチャー区において顕著に少なかった (Table 11, Fig. 13)。地下部合計乾物重には4試験区間に統計的な有意差は認められなかったが、主根乾物重はトレンチャー区において最も高く、地下部乾物重に占める主根部の割合は約80% (他3区では48~51%) であり、太い分枝根の発生・発達が顕著に抑制された主根であることが裏付けられた (Table 12)。トレンチャー区及びバックホー区の草丈、主根頭径及び茎乾物重が他2区に比べ劣ったが (Table 11, 12)、地下部及び地上部の各合計乾物重には4試験区間に有意な差が認められないことから、トレンチャー区の深く耕起した場合の生育の特徴と考えられた。

2. 圃場の耕耘条件が希エタノールエキス、イソフラボノイド及びastragaloside含量に及ぼす影響

希エタノールエキス含量は、全区間で差は認められなかった (23.6~25.3%, Table 13)。Astragaloside合計含量は4区間に有意差は認められなかったが、astragaloside Iがトレンチャー区及びバックホー区で、astragaloside IVが無耕耘区で高かった (Table 13)。イソフラボノイド含量は、トレンチャー区において明らかに含量が低く、他の3区間では有意な差は認められなかった (Table 14)。

3. 圃場の耕耘条件が土壌の物理性に及ぼす影響

トレンチャー区における土壌硬度 (貫入抵抗値) は、生育期間を通じ表層部から地表下80cmまで、 $4\text{kg}/\text{cm}^2$ を超えることはなく、きわめて膨軟に推移したことが判明した (Fig. 14)。トラクター区では、地表下20cmから30cmの間で急激に硬度が増加し、30cm以下では $10\text{kg}/\text{cm}^2$ 以上を示し、無耕耘区と同一か、下層部ではむしろ硬度が高くなる時期 (5月19日) も認められた。バックホー区では、地表下30cm以下ではトラクター区より常に低い硬度 ($6\sim 14\text{kg}/\text{cm}^2$) で推移したが、トレンチャー区と比べ常に高い硬度を示した (Fig. 14)。土壌の3相組成では、地表下20cmにおいて、トレンチャー区、バックホー区、トラクター区、無耕耘区の順で気相割合が高く、地表下50cmにおいてはトラクター区、無耕耘区の気相割合の低下が顕著であり、トレンチャー区とバックホー区間では差は認められなかった

(Table 15)。

4. 根箱による根の伸長速度の調査結果 (Fig. 15)

主根の伸長は、発芽後から100日目(8月上旬)まで直線的に増加して63cmに達し、以後、伸長は認められなかった。主根が40cmに達するのは、発芽後約60日目(6月下旬)であった。一次側根の発生は、発芽直後から40~50日目(5月下旬)及び75~100日目(7月中旬~8月上旬)の2期に急激に増加し、120日目(8月下旬)以降はゆるやかに根数が低下することが観察された。

第3項 考察

播種前にトレンチャーを用いて地表下80cmまで深耕する方法によって、主根の伸長が著しく、一方、太い分枝根の発生・発達が顕著に抑制された形状の根が得られた。一方、バックホーによる地表下80cmまで耕起する方法では、地表下25cmまで耕耘したトラクター区や、表層を軽く耕起した無耕耘区と同様に、分枝根の発生が甚だしかった。バックホー区とトレンチャー区の地表下50cmにおける気相割合はほぼ同一の値であったが、硬度には顕著な差が認められた。従って、バックホーによる耕耘では、硬い土層を破壊できても大きな土塊が残り、主根がこの土塊を突き破れず、結果として主根の伸長が阻害され、著しい分枝根の発生となったものと考えられた。以上のように、土壌硬度が主根の伸長や分枝根の発生に極めて強く影響を及ぼすことが明らかとなった。

トレンチャー区以外の区の主根長は約40cmで止まったが、根箱による観察では主根が40cmに達するのは6月下旬と推定され、この時期におけるトレンチャー区以外の各区の地表下40cm以下の層における土壌硬度(貫入抵抗値)は、6~14kg/cm²以上(6月下旬の測定値はないが、5月下旬と7月下旬の値より推定した)であることが判明した。元田(1989)は果樹の根において、本実験と同じ測定法を用い、貫入抵抗値が15kg/cm²を超えると根の分布が減少し、20kg/cm²以上では根の侵入は殆ど認められないことを報告している⁴⁵⁾。また、直根性のゴボウでは、根の下部に固い土塊が存在すると、根端は土塊に侵入するが伸長が阻害

され、岐根を生ずることが知られている^{55, 67)}。一般に貫入抵抗値は土壌の含水率の影響を受けるため^{69, 49d)}、乾燥時には値が高めに表示される。従って、貫入抵抗値による土壌の硬さの単純な比較は困難であるが、本実験結果から推定すると、本種の場合、生育初期において、目安として $6\sim 14\text{kg}/\text{cm}^2$ 以上の貫入抵抗値の土層や土塊が主根の直下に存在した場合に、主根の伸長が阻害され、分枝根の発生につながるものと考えられた。

トレンチャー栽培によって得られた主根中の、イソフラボノイド含量は低く、astragaloside類の含量は高くなる傾向が認められた。Astragaloside類は皮部に多く含有されるため、細い根ほど含量が高まることが指摘されているが^{1, 2)}、本区の根は他3区に比べて細く(乾物重が同じであるため、主根が長く伸長した分、主根は細くなっている)、その結果、astragaloside類の含量が高くなったものとする。また、磷酸肥料を多く施した場合に生育とともにイソフラボノイド含量が増加することが指摘されており²⁾、今後施肥条件を再検討することによって、含量を増加させることは可能と思われる。

第4項 結論

キバナオウギの生育、希エタノールエキス及び配糖体含量(イソフラボノイド及びastragaloside類)に及ぼす栽培圃場の耕起条件の影響について明らかにするため、播種前にトレンチャー、バックホー、トラクターにて耕耘した圃場及び無耕耘の圃場で、1年間比較栽培を行った。その結果、トレンチャーにより地表下80cmまで耕耘した場合に、主根長は80cmに達し、太い分枝根の発生・発育は著しく抑制されたが、他の3条件下では、主根長は40cmにとどまり、分枝根の発生が顕著であった。また、土壌硬度(貫入抵抗値)を比較した結果、主根の伸長や分枝根の発生・発達には、土壌硬度が密接に関係し、生育初期に貫入抵抗値が $6\sim 14\text{kg}/\text{cm}^2$ 以上の土層や土塊が主根直下に存在した場合、主根の伸長が阻害され、分枝根が多発すると考えられた。トレンチャー栽培により得られた根は、イソフラボノイド含量は低く、astragaloside類の含量は高くなる傾向が認められた。希エタノールエキ

ス含量は、全区間で差は認められなかった。これまでの結果を総合すると、地下水位が低く、排水良好で、膨軟な土壌の圃場で栽培すれば、中国産市場品 (Plate 2) にみられるような直根状の生薬の国内生産は可能と考えられた。

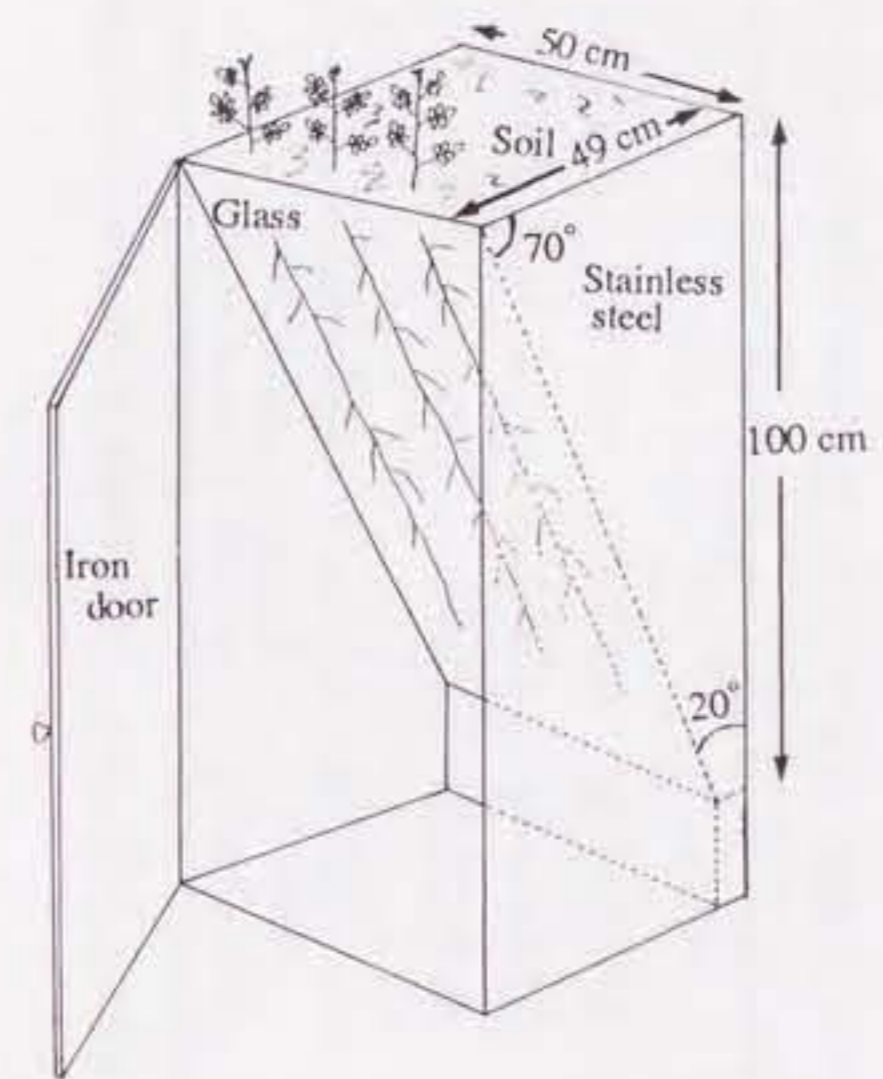


Fig.12 Structure of Root Box Used in Experiment
Iron door was closed except when roots were observed. Roots developed along the glass wall were observed.

Table 11 Effect of Plowing Conditions on Growth of *Astragalus membranaceus* Bunge

Plowing conditions	Plant height (cm)	Root diameter (mm)	Tap root length (cm)	Number of 1 st order lateral root		Length of 1 st order lateral root (cm)			
				3mm* < 2~3mm*	Total	3mm* < 2~3mm*	Total		
Trencher	59.2 ± 5.9 ^b	12.0 ± 1.7 ^c	82.3 ± 9.8 ^a	3.1 ± 2.2 ^b	1.7 ± 2.2 ^c	4.9 ± 3.5 ^c	61.5 ± 55.8 ^b	13.0 ± 18.8 ^b	74.6 ± 60.6 ^b
Backhoe	59.3 ± 6.0 ^b	13.4 ± 1.5 ^b	40.0 ± 13.0 ^b	5.5 ± 1.9 ^a	2.6 ± 1.4 ^{bc}	8.1 ± 2.5 ^b	148.9 ± 52.8 ^a	23.1 ± 14.9 ^{ab}	172.0 ± 59.7 ^a
Tractor	68.2 ± 4.6 ^a	15.0 ± 1.7 ^a	41.2 ± 15.8 ^b	5.8 ± 2.7 ^a	3.5 ± 1.6 ^{ab}	9.3 ± 3.5 ^{ab}	137.4 ± 67.0 ^a	16.1 ± 12.0 ^b	153.4 ± 69.3 ^a
No-plowing	71.2 ± 6.5 ^a	14.5 ± 1.4 ^a	39.0 ± 16.4 ^b	5.9 ± 3.6 ^a	4.8 ± 3.2 ^a	10.7 ± 4.5 ^a	117.5 ± 83.7 ^a	33.3 ± 32.5 ^a	150.8 ± 87.5 ^a
LSD (0.05)	4.1	1.1	10.2	2.0	1.6	2.6	47.0	14.1	48.6

Note: Each value is the mean of 15 plants ± SD. Values with different superscripts are significantly different each other at the 5% level using LSD test. LSD(0.05): least significant difference at the 5% level. *: Root diameter. Seeds were sown on 17 April, 1995 and plants were harvested on 7 Dec., 1995.



Fig.13 Fresh Roots of *Astragalus membranaceus* Bunge Cultivated Under Different Plowing Conditions in the Field for One Year
NP, no-plowing; TR, tractor; BA, backhoe; TO, trencher. Seeds were sown on 17 April, 1995 and plants were harvested on 7 Dec., 1995.

Table 12 Effect of Plowing Conditions on Dry Weight (g / plant) of Each Part

Plowing conditions	Aerial parts		Tap root	Subterranean parts		
	Stem	Branches and leaves		Total	3mm* < 1st order lateral root	2~3mm* Total
Trencher	3.7±1.6 ^b	8.3±3.8	14.4±3.5 ^a	3.1±3.5 ^b	0.4±0.4	3.5±3.5 ^b
Backhoe	3.4±1.4 ^b	6.1±3.3	7.6±3.7 ^b	8.7±3.3 ^a	0.7±0.5	9.4±3.6 ^a
Tractor	5.6±2.5 ^a	8.8±4.2	10.4±3.0 ^b	9.6±6.9 ^a	0.5±0.3	10.1±6.9 ^a
No-plowing	5.3±1.6 ^a	6.5±4.1	8.5±3.6 ^b	7.9±5.3 ^a	1.0±0.9	8.9±5.3 ^a
LSD (0.05)	1.37	NS	2.92	3.47	NS	3.49
		NS			NS	NS

Notes are the same as Table 11. NS represents no significant difference at the 5% level.

Table13 Contents of Dilute Ethanol-soluble Extract and Astragalosides of Tap Roots Cultivated Under Different Plowing Conditions for One Year

Plowing conditions	Dilute ethanol-soluble extract (%)	Astragalosides (mg/100g DW)				
		I	II	III	IV	Total
Trencher	25.3±1.30	118±22.0 ^a	62±10.0	15±2.3	16±2.6 ^b	211±35.1
Backhoo	23.6±0.27	115± 9.4 ^a	55± 3.7	15±2.0	16±1.3 ^b	200±14.7
Tractor	24.4±0.37	67±14.0 ^b	42± 6.6	13±1.5	16±1.9 ^b	138±23.9
No-plowing	24.4±0.81	94± 9.8 ^{ab}	62± 8.3	18±2.7	24±2.0 ^a	198±21.3
LSD(0.05)	NS	27.0	NS	NS	4.0	NS

Notes: Three dry tap roots with three replications were selected and analyzed. Each value is the mean ± SD. Values with different superscripts represent significantly different each other at the 5% level using LSD test. LSD(0.05): Least significant difference at the 5% level. NS represents no significant difference among 4 plots at the 5 % level .

Table 14 Contents of Isoflavonoids of Tap Roots Cultivated Under Different Plowing Conditions for One Year

Plowing conditions	Isoflavonoids (mg/100g DW) *					Total
	I	II	III	IV	V	
Trencher	41±0.7 ^b	20±1.3	16±1.1 ^b	13±2.3 ^c	2±0.1	92± 3.0 ^b
Backhoo	61±9.9 ^a	27±3.9	23±2.0 ^a	19±3.2 ^b	2±0.2	131±16.6 ^a
Tractor	62±9.3 ^a	21±5.7	17±2.5 ^b	22±1.0 ^{ab}	2±0.2	124±17.7 ^a
No-plowing	57±9.7 ^a	23±0.2	17±2.8 ^b	25±1.1 ^a	2±0.4	124±12.7 ^a
LSD(0.05)	9.8	NS	3.1	3.9	NS	14.0

Notes the same as Table III. * Isoflavonoids : I , astraisoflavoneglucoside; II , formononetin 7-O-β-D-glucoside; III , astrapterocarpanglucoside; IV , astraisoflavanglucoside; V , astraisoflavone (calycosin).

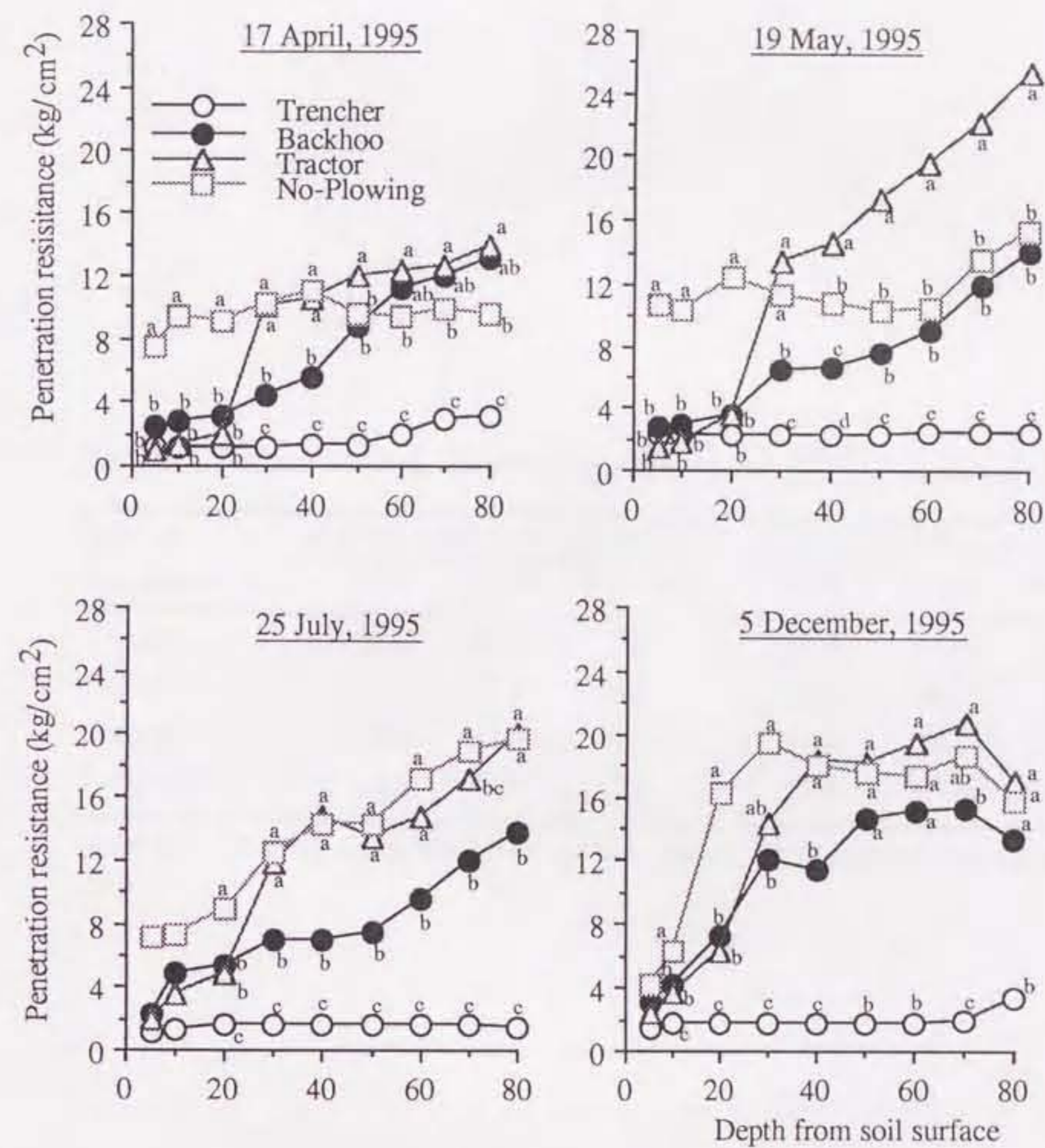


Fig.14 Comparison of Soil hardness (Penetration Resistance) of Field Plowed Out by Different Method
 Soil hardness (penetration resistance) was measured by a hardness tester DIK-5520 (Daiki Rika Kogyo Co., Ltd.). Data are the mean of 4 measurements. Values with different small letters are significantly different among the same soil depth at the 5% level using LSD test.

Table15 Effect of Plowing Conditions on Three Phases Distribution (%) of Soil

Plowing conditions	at 20cm depth from soil surface			at 50cm depth from soil surface		
	Solid	Liquid	Gaseous	Solid	Liquid	Gaseous
Trencher	25.0	41.7	33.3	24.0	51.4	24.3
Backhoo	24.0	45.6	30.4	25.2	50.2	24.6
Tractor	25.6	47.4	27.0	24.6	56.1	19.7
No-plowing	25.1	52.5	23.8	24.3	57.8	17.9

Note: Values are the mean (%) of two measurements. Soil samples were collected on 7 Dec., 1995.

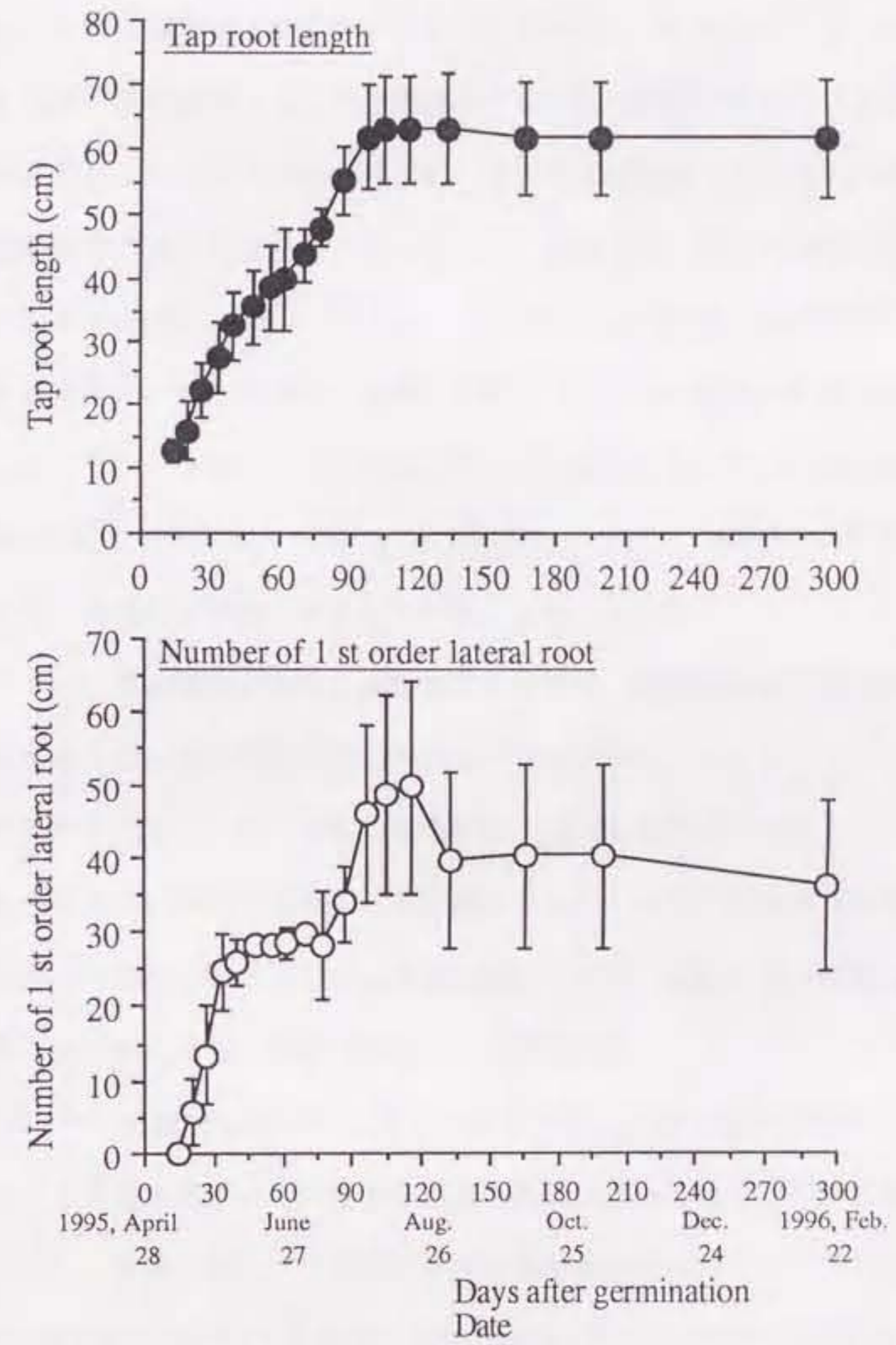


Fig.15 Time Course of Tap Root Elongation and 1st Order Lateral Root Development of the Plant Cultivated in Root Box. For details of root box, see Fig. 12. Data are the mean of 3 plants. Bars represent SD. Seeds were sown on 17 April, 1995. Germination started on 28 April, 1995.

第6節 摘要

1. ナイモウオウギ種子の発芽が不揃いの原因は、採取後の種子や豆果の乾燥過程で生ずる硬実に起因する吸水阻害によるものであることが判明し、その硬実打破には -22°C で水とともに種子をゆるやかに凍結させ、その後解凍する方法が効果的であることが明らかとなった。また、凍結処理は30日以上行った場合に、より効果が強まることも確かめられた。

2. より短期間での凍結処理法を確立するべく、凍結温度(-196°C から -20°C)及び処理時間(10分から24時間)を検討した結果、 -20°C での急速凍結を24時間行った後、 40°C で急速解凍する方法が、最も効率良く硬実を打破し、幼植物の傷害の出現頻度が低いことが明らかとなった。また、本処理を行った後、 5°C 下に保存した場合、硬実打破効果は少なくとも140日間は維持されることも判明し、本処理法は、安全且つ簡便で実用性が高く、ナイモウオウギの栽培生産化に貢献しうるものであると考えられた。

3. ナイモウオウギの圃場における直播栽培において、移植栽培と同様に著しい分枝根の発生が認められるのは、栽培圃場の排水不良または地下水位レベルによって、生育初期の主根先端部が障害を受けることが一要因と推察され、主根が地中深く伸長する本種の栽培にあたっては、圃場の選定に注意が必要であると結論された。一方、肥料の施用位置と太い1次側根の発生位置との間には明らかな対応関係は認められず、肥料の施用位置は主根の伸長や分枝根の発生に直接的に及ぼす影響は少ないと推察された。

4. キバナオウギの栽培において、砂土と褐色森林土区で良好な生育を示し、主根中のイソフラボノイド含量も高かった。砂土中のリン酸含量は著しく高く、これは砂土区の個体が良好な生育を示し、主根中のイソフラボノイド含量が高かった理由の一つと考えられた。なお、土性や3相組成の違いは、主根の伸長や分枝根の発生に直接的な影響を及ぼさなかった。

5. キバナオウギの栽培において、圃場の土壌硬度(貫入抵抗値)が分枝根の発生・発達に及ぼす影響を検討した結果、主根の伸長や分枝根の発生・発達に土壌硬度が密接に関係し、貫入抵抗値 $6\sim 14\text{kg}/\text{cm}^2$ 以上の土層や土塊が、生育初期に主根直下に存在した場合、主根の伸長が阻害され、分枝根が多発すると考えられた。作付前のトレンチャーによる圃場の

耕耘により貫入抵抗値を低下させる栽培法によって、直根性の形状をした生薬の生産が可能であることが明らかとなった。また、本栽培法で得られた根は、薬用成分であるイソフラボノイド含量は低く、astragaloside類の含量は高くなる傾向が認められた。

6. 以上の実験結果をもとに考察すると、地下水位レベルが低く、排水良好で、膨軟な砂質土壌の圃場で栽培すれば、ナイモウオウギ、キバナオウギともに、日本においても、中国産市場品にみられるような直根状の生薬の安定的な生産が可能と考えられた。なお、肥料の施用位置や土壌の3相組成の違いが、主根の伸長や分枝根の発生・発達に及ぼす直接的な影響は少ないと考えられた。

第3章 センキュウの栽培に関する研究

婦人薬、冷え症薬、皮膚疾患薬及び消炎排膿薬などとして使用される漢方処方（当帰芍薬散、四物湯、当帰調血飲、十味敗毒湯等）に配合されている生薬川芎は^{50b)}、セリ科の多年草センキュウ *Cnidium officinale* Makino の乾燥根茎として、第十三改正日本薬局法に収載されている^{34d)}。一方、中国では中華人民共和国薬典⁸⁾において、同名の生薬の基原植物としてセリ科の多年草 *Ligusticum chuanxiang* Hort. が規定されている。しかし、本種は日本薬局法には収載されておらず、両国の基原植物の規定は異なっている。すなわち、第1章においても述べたように、生薬名は同一であっても日本と中国ではその基原植物が異なるため、日本においては中国産の生薬川芎は使用できない状況にある。従って、供給はすべて日本国内での栽培によっており、安定した収量を得るための栽培法の確立が求められている生薬である。本種は中国原産と考えられ³⁹⁾、1600年代の長崎への渡来以後各地で栽培されてきたが^{44b)}、元来寒冷地型の植物のため、現在北海道を中心に東北及び関東地方北部で毎年年間約400tが生産されている^{50b)}。しかし、収量には各生産地域間及び年次により大きな差が認められ^{52c)}、今後生薬の安定供給を図る上で、肥料条件をはじめ生育に関する諸要因と収量との関係を明らかにし、その地域の栽培形態に即した栽培技術の確立が必要である。

第1節 生育、収量に及ぼす施肥時期の影響

これまでに逸見ら（1967）¹⁶⁾ は北海道名寄市において試作を行ない、最適な苗の大きさ、定植方法、種イモの消毒方法及び同地域における最適収穫時期などについて報告している。また、北海道立北見農業試験場は同地域での栽培方法を検討し、その中で肥料条件と収量について、以下のように言及している。窒素・リン酸・カリの肥料3要素のうち、窒素とカリの効果が顕著であること、年間施用量は10a当たり窒素8~12kg、リン酸5kg、カリ10kgが適量であること、そしてその半量を秋の定植時に、残り半量を翌年に追肥として施すのが

良いとしている²⁰⁾。

しかし、収量と品質の安定化並びに肥料の利用効率に関わる施肥時期に関しては詳細な検討がなされていないので、1986年と1987年、及び1990年と1991年の4年間、施肥時期と生育・収量との関係について検討を加えた。

第1項 材料及び方法

1. 材料：国立衛生試験所北海道薬用植物栽培試験場（名寄市）で、10年間以上にわたって育成されているセンキュウ *Cnidium officinale* Makino の根茎を用いた。

2. 栽培概要と試験区分 1986年度；1985年10月26日に上記の根茎を畦幅60cm，株間30cm（5328株/10a）の栽植密度で、10aの国立衛生試験所北海道薬用植物栽培試験場内圃場に定植した。試験区として、1986年5月8日から8月7日まで約10日間隔で、10試験区（A～J区，Table16）の施肥時期を設定した。肥料は成分量でN：P：K=12：5：10 kg/10aを、各々硫安，過リン酸石灰，及び硫化カリにて、所定の日に全量を施用した。同年10月14日に、各区とも6m²を1区として8反復で収穫し、親イモ・子イモとに分けて水洗・乾燥したものを収量とした。

1987年度；1986年10月16日に前年と同一条件で定植し、試験区（A～J区，Table17）及び施肥条件も同一とした。10試験区のうち5試験区（A，C，E，G，I区）について、各区とも平均的な生育を示した10株を、1987年5月22日から10月19日まで約10日毎に掘りとり、生育を調査した。調査後の試料のうちA，C，E区について、N及びK₂Oの含有量を測定した。同年10月14日に、各区とも12m²を1区として6反復で収穫し、水洗したものを生体収量とした。

1990年度；1989年10月14日に、畦幅60cm，株間20cm（8000株/10a）の栽植密度で、5aの圃場に定植した。試験区はTable18に示す5区で、1区43m²（36株）に設定した。各区とも平均的な生育を示した8株を、1990年5月16日から9月17日までの間に5回、2反復で掘り上げ生育を調査し、調査後の試料のうち3回分について、Nの含有量を測定した。同

年10月14日に、各区とも平均的な生育を示した10株を、4反復で収穫し、蒸気で湯どうし処理を行なった後、乾燥させて重量を測定した。

1991年度：1990年10月5日に、前年度と同一条件で定植した。試験区はTable19に示す2区を設定した。1991年10月3日に、両区とも平均的な生育を示した10株を3反復で掘り取り、生育を調査した。同年10月11日に、両区とも2.5m²を1区として3反復で収穫し、1990年度と同様に調製したものを収量とした。

以上の4回の試験の共通条件として、定植時の種イモはベンレート粉剤で粉衣し、また基肥として中熟堆肥2t/10a、炭酸カルシウム90kg/10aを定植前に全層に施した。窒素の定量は、乾燥粉末試料1gに硫酸15ml、及び分解促進剤としてケルタブ錠〔K₂SO₄とCuSO₄・5H₂Oの混合物(9:1)、Thompson & Capper Ltd.製〕を加え、330℃で約1時間、その後420℃で1時間半分解後、放冷して分解液とし、MRK自動式窒素/タンパク質定量装置(三田村理研)を用いて測定した。カリはSPAD-SFP2(富士平工業)²⁴⁾による炎光光度法により、また葉面積は自動葉面積計(AAC-400、林電工)を用いて測定した。

第2項 実験結果

1. 施肥時期が収量に及ぼす影響

年間施用量の全量を追肥として施した1986年の実験における収量調査では、5月施肥区の子イモ収量及び全収量は他区より有意に高かったが、親イモ収量には差が認められなかった(Table16)。5月施肥区的全収量が他区より有意に高い結果は、1987年度の同様の実験において再現性が確認できた(Table17)。また、年間施肥量の半量を秋の基肥として施し、残り半量の追肥時期の影響を検討した1990年の実験においても、5月施肥区の収量が有意に高いことが認められた(Table20)。これらの結果から、5月(萌芽後1ヶ月半以内)の施肥が、収量を高める上で最も効果的であることが確認された。

2. 春期施肥が生育に及ぼす影響

1987年における各部位の乾物重の推移を、Fig.16に示した。子イモ乾物重には8月下旬以

後10月まで区間で有意差が認められ、5月施肥区（A,C区）は他区に比べて高かった。また、地上部乾物重は6月下旬～8月上旬にかけて区間に有意差が認められ、5月施肥区は他区に比べ高く、その影響が8月下旬以後の子イモ乾物重の増加につながったものと思われた。一方、親イモ乾物重には区間に有意な差が認められず、従って、5月施肥区における高い収量（Table17）は、子イモ乾物重の増加に由来するものであり、これらの結果は1986年の結果とも一致した。

3. 夏期施肥が生育に及ぼす影響

年間施肥量の半量を秋の基肥として施し、残り半量の施肥時期の影響を比較した1990年の実験における各部の生育の推移を、Fig.17, 18に示した。全般に8月10日までは全区に差が認められなかったが、それ以後は7月施肥区（D区）の生育が他の4区と比べて著しく劣った。また、9月3日から17日にかけて、夏期に施肥をしなかったC区のみが地上部乾物重及び葉面積が低下したのに対し、夏期に施肥したC区以外の4区は9月中旬でも地上部の生育がなお活発に続いていた。しかし、10月における乾物重を比較すると（Table20）、C区が最高でE区がこれにつき、他の3区は著しく劣り、秋における地上部の旺盛な生育は収穫期における地下部の重量には反映しなかった。

8月上旬の施肥効果を比較した1991年の実験結果をTable21に示したが、両区に有意差が認められず、収量に対する8月上旬の施肥効果は認められなかった。

4. 窒素・カリ含量の変化

1987年における各部位の窒素、カリ（ K_2O ）含有率の推移を、Fig. 19, 20に示した。窒素含量は地上部では経時的に減少し、親イモ・子イモでは肥料施用後2ヶ月半から3ヶ月目に増加する傾向が認められた。すなわち、5月下旬に施肥したC区では8月中旬に、6月中旬に施肥したE区では9月上旬に、それぞれ含有率の増加が認められた。一方、カリは地上部に多く、秋までゆるやかな増加が続き、親イモでは9月上旬に一時減少した後、秋にかけて急速に高まり、子イモでは9月以後急速に増加する傾向が認められた。しかし各区間での含量には差は認められなかった。

第3項 考察

年間施肥量を一定にして、その全量を翌年1回の追肥で施した場合、及び半量を基肥で施し残り半量を翌年の追肥として施した場合のいずれにおいても、5月の施肥は収量の増加に最も効果的であり、その効果は、特に子イモの肥大が高まることに起因することが明らかであった。一方、7・8月の追肥は秋における地上部の生育を促進した。しかし、収穫後の乾燥工程での収穫物の凍結を防止するため、10月上～中旬までに収穫作業を終了する北海道の作型¹⁶⁾では、地上部の生育促進による効果が地下部の生育（収量）へはほとんど反映されなかった。また、5月に施肥をせず、夏に施肥をした場合には著しく減収した。これらのことは、窒素が施肥後2ヶ月半～3ヶ月後に地下部に多く存在することと関連していると思われる。一般に、サツマイモの塊根肥大に対するカリ及び窒素の高い肥効は、デンプン合成酵素の活性を促進することに起因することが知られている⁵⁶⁾。また、沢畑(1989)は、サツマイモ塊根中のカリと窒素の比率(K_2O/N)は、塊根乾物重と密接な関係があり、この比が5以下の範囲では、値が高くなるほど塊根乾物重が多くなり、塊根乾物重を高める上で塊根中のカリ及び窒素濃度を高めることの重要性を指摘している⁶⁴⁾。本実験において、5月の施肥では子イモの肥大成長が最も盛んになる直前の8月中旬までに窒素は地下部に多く認められるのに対し、7～8月上旬の施肥ではそれが9月中旬～10月になり、地下部への肥効が十分現れないまま収穫期を迎えたものと考えられた。

年間施用量の半量を秋の基肥として施した場合、残り半量の施用が5月に行われなくとも8月上旬までは生育に差は認められず、基肥の肥効は萌芽時から8月上旬まで継続することが推察された。施肥後、窒素の肥効が現れるまでの期間を考慮すると、半量を秋の植付時に基肥として、残り半量を5月(萌芽後1ヶ月以内)の追肥で施すのが、本種の生育及び北海道の栽培形態に最も適した方法と考えられ、北見農試の実験結果²⁰⁾を支持するものであった。

以上のように、収穫が10月上旬～中旬に行われる北海道の作型においては、初夏以降の追肥は効果が認められなかったが、収穫が11月下旬以後に行われる地域においては、収量の増加に効果が認められる可能性もあると考えられた。

Table 16 Effect of Time of Fertilizer Application on Dry Matter Yield (kg/6 m²) of *Cnidium officinale* MAKINO (1986)

Plots		Daughter stock	Mother stock	Total yield
A	8. May* ¹	2.99 ± 0.29 ^a	1.10 ± 0.11	4.10 ± 0.39 ^a
B	17. May	2.90 ± 0.20 ^{ab}	1.11 ± 0.10	3.95 ± 0.42 ^{ab}
C	27. May	2.78 ± 0.15 ^{abc}	1.08 ± 0.13	3.89 ± 0.20 ^{ab}
D	7. Jun.	2.75 ± 0.25 ^{abc}	1.05 ± 0.08	3.85 ± 0.33 ^{ab}
E	17. Jun.	2.75 ± 0.20 ^{abc}	1.06 ± 0.11	3.79 ± 0.22 ^{abc}
F	27. Jun.	2.63 ± 0.31 ^{cd}	1.00 ± 0.11	3.64 ± 0.43 ^{bc}
G	7. Jul.	2.70 ± 0.33 ^{bcd}	1.06 ± 0.18	3.66 ± 0.56 ^{bc}
H	17. Jul.	2.59 ± 0.24 ^{cd}	1.06 ± 0.12	3.71 ± 0.23 ^{bc}
I	28. Jul.	2.48 ± 0.24 ^{de}	0.99 ± 0.12	3.45 ± 0.34 ^{cd}
J	7. Aug.	2.33 ± 0.31 ^e	0.95 ± 0.14	3.24 ± 0.41 ^d
LSD ($p=0.05$)* ²		0.255	N. S.	0.366

Each value is mean ± standard deviation.

Values with different superscripts are significantly different from each other at 5% level according to Fisher's LSD test.

*¹ Time of fertilizer application.

*² represents least significant difference at 5% level.

N.S.: not significant at 5% level.

Table 17 Effect of Time of Fertilizer Application on Growth of *Cnidium officinale* MAKINO (1987)

Plots		Fresh matter yield (kg/12 m ²)		
		Mean \pm S.D.	Maximum	Minimum
A	8. May*	16.4 \pm 1.54 ^{ab}	19.4	15.1
B	18. May	16.3 \pm 1.01 ^{ab}	18.0	15.6
C	28. May	16.6 \pm 1.51 ^a	18.0	13.8
D	9. Jun.	15.2 \pm 0.60 ^{abc}	15.7	14.0
E	18. Jun.	15.2 \pm 0.81 ^{abc}	16.3	14.1
F	29. Jun.	13.8 \pm 1.52 ^{cd}	15.7	11.7
G	7. Jul.	13.8 \pm 1.61 ^{cd}	16.5	11.9
H	17. Jul.	12.8 \pm 1.24 ^d	14.9	11.3
I	28. Jul.	14.7 \pm 1.05 ^{bc}	16.1	13.4
J	7. Aug.	14.2 \pm 1.11 ^{cd}	15.8	12.7

Values with different superscripts are significantly different from each other at 5% level according to Fisher's LSD test (LSD: 0.05=1.87).

* Time of fertilizer application.

Table 18 Experimental Design (1990)

Plots	Amount of fertilizer applied (kg/10 a)														
	Bd.* ¹			Td. (30/May)* ²			Td. (17/Jul.)			Td. (3/Aug.)			Total		
	N	P	K* ³	N	K	N	N	K	N	K	N	K	N	P	K
A	6	6	6	1.9	1.6	2.2	1.8	1.6	1.9	1.6	1.6	1.6	12	6	11
B	6	6	6	3	2.5	3	2.5	—	—	—	—	—	12	6	11
C	6	6	6	6	5	—	—	—	—	—	—	—	12	6	11
D	6	6	6	—	—	6	5	—	—	—	—	—	12	6	11
E	6	6	6	3	2.5	3	2.5	3	2.5	3	2.5	15	6	13.5	—

*¹ represents basal dressing. Compound fertilizer (N:P₂O₅:K₂O=10:10:10) was supplied at the rate of 60 kg per 10 are at the time of setting (14th October, 1989).

Phosphate fertilizer was applied as only basal dressing.

*² represents top dressing. Ammonium sulfate and potassium sulfide were applied as nitrogenous fertilizer and potassium fertilizer, respectively.

*³ N: nitrogenous fertilizer, P: phosphate fertilizer (P₂O₅), K: potassium fertilizer (K₂O).

Table 19 Experimental Design (1991)

Plots	Amount of fertilizer applied (kg/10 a)									
	Bd.*1			Td. (31/May)*2		Td. (1/Aug.)		Total		
	N	P	K*3	N	K	N	K	N	P	K
A	6	6	6	6	5	—	—	12	6	11
B	6	6	6	6	5	3	2.5	15	6	13.5

Notes are the same as Table 18 .

Basal dressing was applied at the time of setting (5th October, 1990).

Table 20 Effect of Time of Fertilizer Application on Dry Weight (g/10 plants) of Rhizome of *Cnidium officinale* MAKINO (1990)

Plots	Mean \pm S.D.	Maximum	Minimum
A*	748.2 \pm 77.0 ^c	836.7	672.3
B	792.7 \pm 33.4 ^{b,c}	812.6	743.0
C	919.0 \pm 71.9 ^a	1007.5	859.3
D	707.0 \pm 25.9 ^c	742.2	681.0
E	874.5 \pm 30.9 ^{a,b}	907.1	835.6

Values with different superscripts are significantly different from each other at 5% level according to Fisher's LSD test (LSD: 0.05=82.0).

* is shown in Table 18.

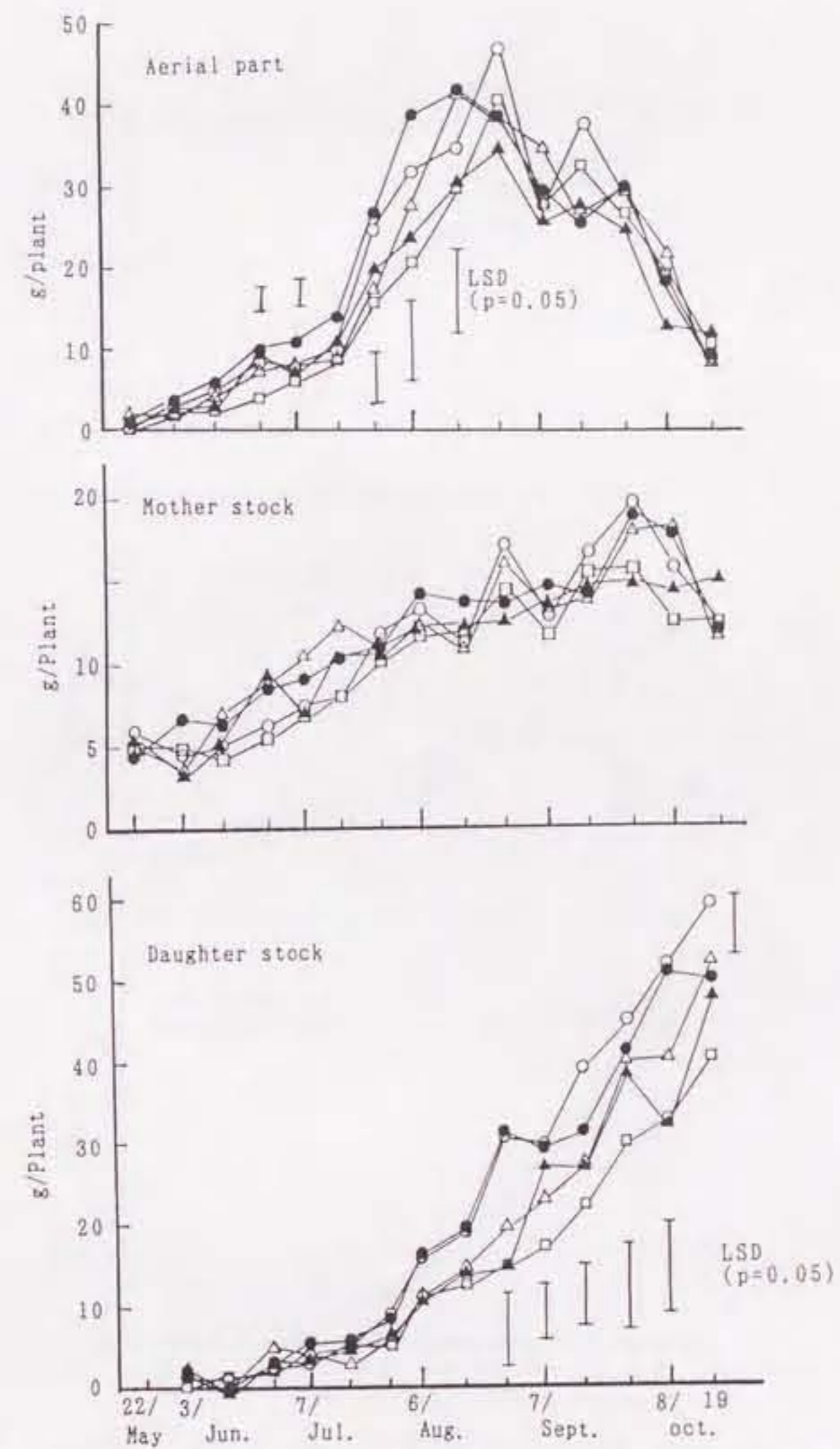


Fig.16 Effect of Time of Fertilizer Application on Dry Weight of *Cnidium officinale* MAKINO (1987)

○ : A, ● : C, △ : E, ▲ : G, □ : I (For details, see Table 17)
 Vertical bars represent least significant difference at 5% level according to Fisher's LSD test.

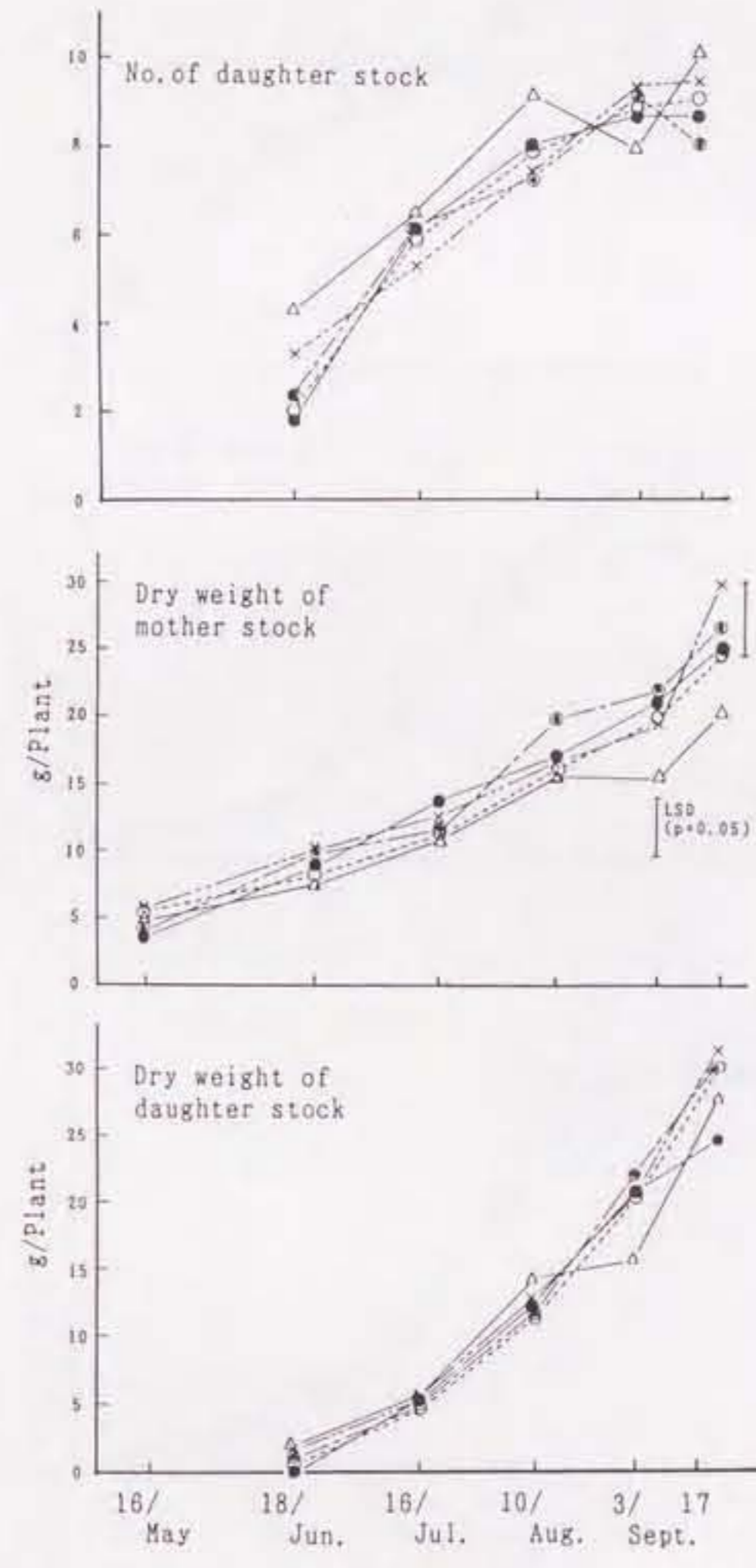


Fig.17 Effect of Time of Fertilizer Application on Growth of Subterranean Parts of *Cnidium officinale* MAKINO (1990)
 ○ : A, ● : B, ⊙ : C, △ : D, × : E (For details, see Table 18)
 Vertical bars represent least significant difference at 5% level according to Fisher's LSD test.

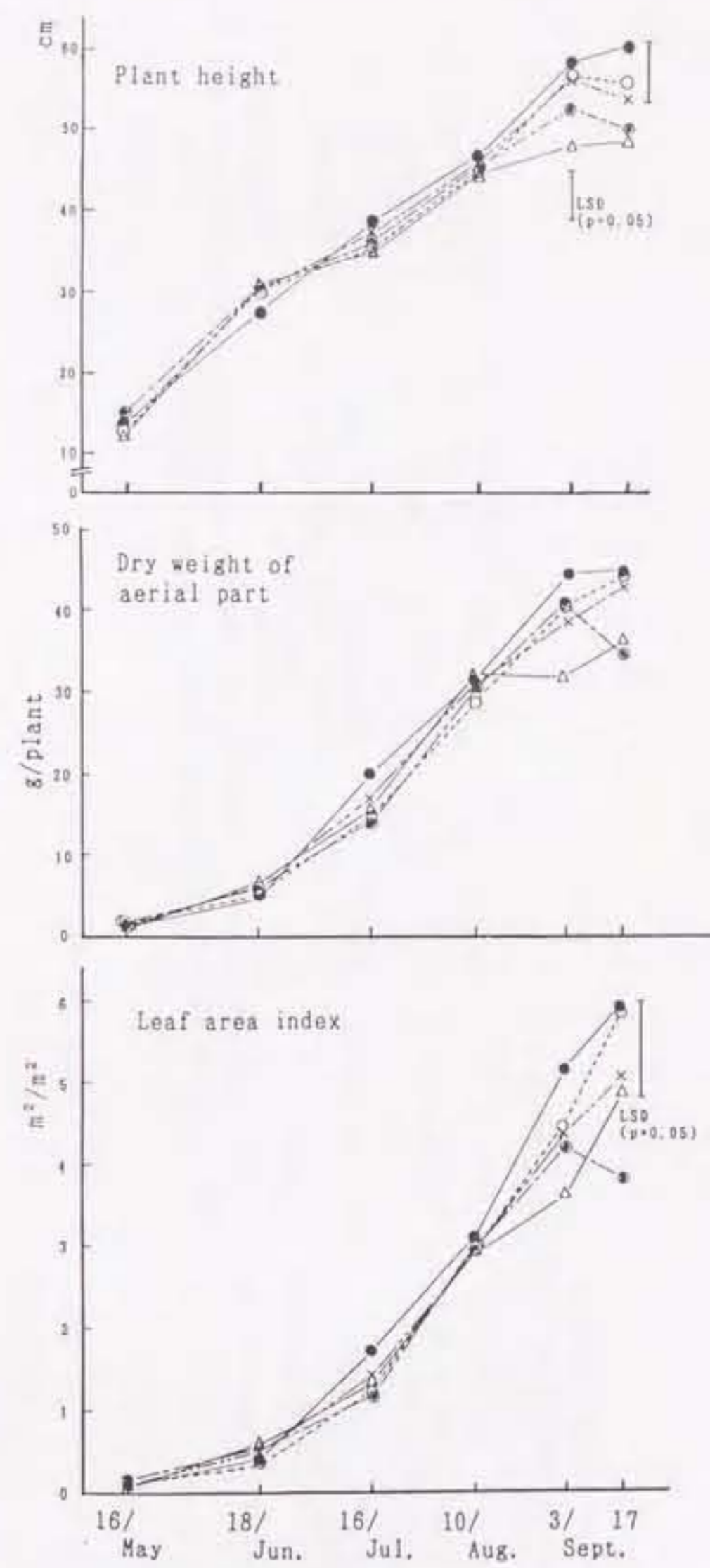


Fig.18 Effect of Time of Fertilizer Application on Growth of Aerial Parts of *Cnidium officinale* MAKINO (1990)
 ○ : A, ● : B, ⊙ : C, △ : D, × : E (For details, see Table 18)

Table 21 Effect of Fertilization on Growth of *Cnidium officinale* MAKINO (1991)

Plots*	Plant height (cm)	No. of daughter stock	Dry weight			Dry matter yield (kg/2.5 m ²)
			Aerial part (g/plant)	Daughter stock (g/plant)	Mother stock (g/plant)	
A	49.8 ± 6.83	10.2 ± 0.55	29.1 ± 6.24	35.3 ± 4.65	26.5 ± 2.37	1.53 ± 0.44
B	52.2 ± 3.94	10.1 ± 0.89	31.9 ± 7.87	36.7 ± 3.31	31.4 ± 2.40	1.58 ± 0.25

Each value is mean ± standard deviation.

* is shown in Table 19.

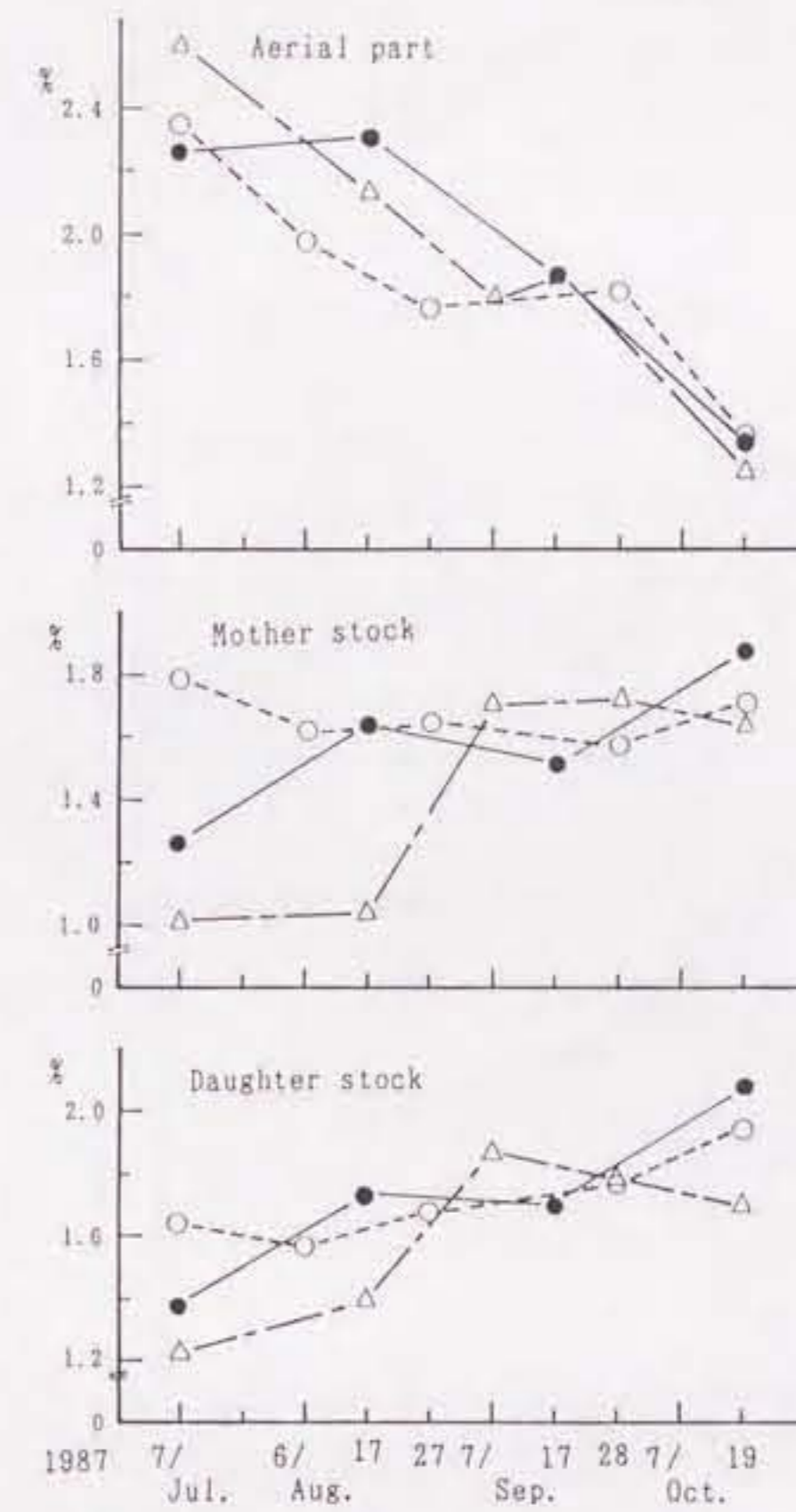


Fig.19 Change of Nitrogen Content in Each Part of *Cnidium officinale* MAKINO Cultivated in Different Fertilizer Application (1987)
 ○ : A, ● : C, △ : E (For details, see Table 17)

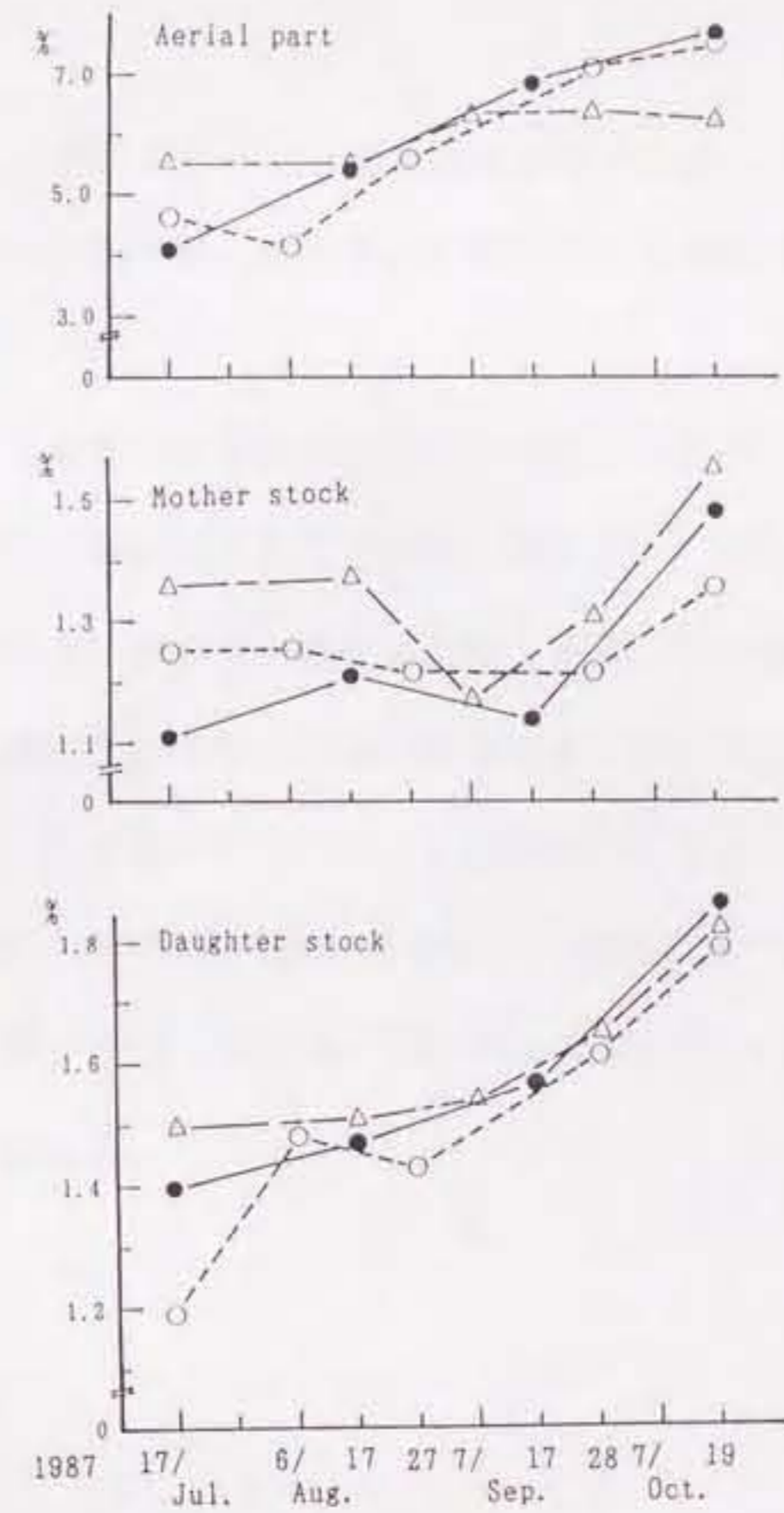


Fig.20 Change of Potassium (K₂O) Content in Each Part of *Cnidium officinale* MAKINO Cultivated in Different Fertilizer Application (1987)

○ : A, ● : C, △ : E (For details, see Table 17)

第2節 摘要

収量に及ぼす施肥時期の影響について、1986年～1991年に北海道名寄市において圃場試験を実施し、以下のことを明らかにした。

1. 5月期（萌芽後1ヶ月半以内）の施肥は、特に子イモの肥大成長を促進し、収量の増加に最も効果的であった。
2. 7月・8月期の施肥は、秋における地上部の生育を高めたが、10月上旬～中旬までに収穫作業を終了する北海道の作型では、地下部の生育までその効果が反映せず、収量への効果は認められなかった。
3. 収量と密接に関係する窒素の含有率を測定した結果、地上部への移行は施肥後1ヶ月以内に起こったが、地下部への移行はそれより遅れ、施肥後2ヶ月半～3ヶ月と推定されたことから、このような移行の遅れが、夏の追肥が収量に反映しない要因と推論した。
4. 秋の定植時における基肥の効果は、翌春の萌芽時から8月上旬まで認められた。
5. 以上の実験結果から、北海道の作型における施肥法としては、年間施肥量のうち半量を基肥とし、残り半量を翌年の春の萌芽後1ヶ月半以内に追肥として施すのが、最適の施肥法と考えられた。なお、収穫が11月下旬以後に行われる地域においては、夏の追肥が効果を及ぼす可能性もあると結論した。

第4章 ケシの栽培に関する研究

第1節 花芽の分化と発育に及ぼす日長時間並びに温度の影響

ケシ科の1年草ケシ (*Papaver somuniferum* L.) は^{39b)}、その未熟なさく果に切り傷をつけ、溢泌する乳液を集め乾燥させたアヘンの原料植物として、古くから世界的に利用されてきた植物である。アヘン中には約40種類のアルカロイドが含まれており、鎮痛薬として認識されたのは、19世紀初め頃と考えられている⁸¹⁾。

日本における栽培は第1章において述べたように、1837年頃大阪府下において始まり、その後大阪府・和歌山県下での栽培が進んだが、その後経済的理由によって一時栽培が低迷し今日に至った。しかし、最近のアヘン需要量の増加に伴い、北海道においても生産栽培が行われており、現在では九州や四国地方においても栽培が試みられている。

これまでの日本におけるケシ栽培の慣行は、暖地においては秋に播種し翌年の初夏に、寒冷地（東北地方南部以北）においては春に播種しその年の初夏に、それぞれ未熟なさく果（開花後2週間程度）からアヘンを採取する方法が一般的に行われてきた。このように採取されるアヘン収量は、開花後ほぼ2週間のさく果の大きさと（未報告）、さらには、そのさく果の大きさは花芽分化の早晚と、それぞれ密接な関係にあることが明らかとなっている⁴²⁾。

一般にケシの花芽分化は、長日条件によって誘導されると考えられているが^{13, 42)}、1937年に育成されて以来、現在までの約60年間日本各地で栽培されてきた栽培品種「一貫種」³⁶⁾に関して、花芽分化とその発育に及ぼす日長時間と温度の影響について検討した報告は少ない。

熊谷・畠山 (1985)³⁸⁾は、「一貫種」の寒冷地（北海道）での春播き栽培における花芽分化過程を検討し、暖地（和歌山）での秋播き栽培における花芽形成過程²⁹⁾と比較した結果、花芽分化から子房形成までの期間が、寒冷地での春播き栽培の場合は著しく短いことを指摘し、この違いは花芽の生育が進む過程で温度が関与していることを推論した。これまで

の研究において、花芽の分化・発育に温度が関係することは、トマト^{74, 78)}、ナス⁷⁴⁾、カブ^{60, 61)}など多くの作物で知られているが、ケシに関しては明らかにされていない。

一般に食用作物では、各地域の気象条件・栽培様式に適応した生態的特長をもつ多くの品種が育成されている²¹⁾。先述したように、1937年に育成された一貫種は、その後全国各地で栽培や保存が続けられており、生態的地方型に分化している可能性もあるが、この点についての研究報告も見あたらない。そこで本章では、寒冷地及び暖地2ヶ所で維持されている一貫種を材料にして、花芽の分化と発育に及ぼす日長並びに温度の影響について検討し、各地域の気象条件に適したケシ栽培法確立のための基礎的知見を得ようとした。

第1項 材料及び方法

1. 日長試験：1990年7月に国立衛生試験所北海道薬用植物栽培試験場（名寄系）及び同年6月に長崎大学薬学部薬草園（長崎系）で、それぞれ採取したケシ栽培品種「一貫種」*Papaver somniferum* L. cv “Ikkanshu” の種子を、1990年12月10日に、黒ボク土約2kgを充てんした1/5000 a のワグネルポットに播種した。肥料は1ポット当たり、炭酸カルシウム1.2g、化成肥料（窒素：リン酸：カリ=14：4：14）2g、熔リン1.2gを全量基肥として与えた。播種後は温室内で管理し、発芽が完了した同年12月19日から4連型日長箱（自家製）を用いて、15、12、10及び9時間の日長条件下で栽培した。各区とも1ポット当たり1本植え、6反復とし、約10日毎に生育を調査した。日長の調節は、各日長区とも8時間は自然光、それ以上は40w白熱電球を用いて補光（相対照度60 lux）する方法によった。

2. 感温性試験：日長試験の材料に加え、1990年6月に筑波薬用植物栽培試験場（筑波系）で採取した一貫種の種子を、日長試験と同一のポット・土壌・肥料条件下に播種した。試験区分及び温度処理はTable 22に示した通りである。2葉期から7～10日毎に各区5～7個体をサンプリングし、FAA（ホルマリン1：氷酢酸1：70%エタノール18の混合液）中に固定、保存した。常法により成長点のバラフィン切片を作製し、デラフィールドのヘマトキシリンで染色後、鏡検及び写真撮影を行ない、頂芽の花芽分化の過程を観察した。温度処理終

了後、各区とも1ポット当り2本植、3反復とし、40W白熱電球で補光した15時間日長下の温室内で栽培した。約10日毎に展開した最上位葉の葉位を測定し、開花日を調査した後、開花後15日目におけるさく果の大きさ並びに器官別の乾物重を測定した。

実験はいずれも、国立衛生試験所北海道薬用植物栽培試験場（名寄市）で行った。

第2項 実験結果及び考察

1. 日長時間が開花に及ぼす影響 (Fig.22)

15時間日長下において、長崎系は日長処理後平均85日目に、名寄系は平均132日目に開花した。12時間以下の日長下では、両系統とも137日目までには開花に至らなかったが、9時間日長下でも抽苔は認められた。このように、本品種は短日条件下でも花芽分化はするものの、その反応は極めて緩慢であり、日長が長くなるにつれて開花までの日数が短縮することが明らかになった。また、両系統を比べると、名寄系は長崎系に比べ反応が緩慢であり、系統間における花芽分化の早晩に明確な差が認められた。短日条件下で花芽が形成されるイネにおいて、短日処理の効果は累積することが報告されているが²⁶⁾、ケシにおける長日処理の累積性については今後の検討課題である。

2. 温度が花芽分化・発育に及ぼす影響 (Table 23, 24, Fig. 23)

成長点は花芽分化後は葉の分化を行わないので、開花時に最上位の展開葉位を調べることで花芽分化時期を推定することができる。名寄系の15℃区では、20℃区及び無処理区と比べて有意に早く花芽分化を行うが、25℃区では著しく遅れ、温度処理期間中には花芽分化は認められなかった (Table 23, 24)。無処理区の栽培期間中の温度 (Fig. 21) を考慮すると、名寄系の花芽分化の適温は15℃程度と考えられた。開花までに要した日数は15℃区と20℃区間には差がなく、また、無処理区では20℃区とはほぼ同時期に花芽分化をしたにもかかわらず、開花までに要した日数は20℃区に対し有意に長くなっており、分化後の花芽の生育には20℃程度の温度が適していると思われた。名寄系とはほぼ同様の傾向は、長崎系においても認められた。それに対して筑波系においては、無処理区に最も早く花芽分化

がみられ、以下15℃・20℃区の順に遅れ、25℃区では名寄・長崎系同様、温度処理期間中に花芽分化は認められなかった。無処理区の栽培期間中の温度を考慮すると、筑波系は15℃以下の温度により感応しやすい系統であるとともに、名寄・長崎系同様、分化後の花芽の生育適温を20℃近辺にもつと考えられた。

齊藤らは(1991)低温に感応するカブの花芽形成について、低温感応は累積するが、途中での高温処理によってその累積効果はある程度打ち消されることを指摘している^{60, 61)}。本実験において、無処理区の栽培期間(12月~3月上旬)中の温室内平均温度は、13~28℃の間で推移している(Fig. 21)。筑波系における無処理区の花芽分化は15℃区よりも有意に早く、また、長崎系における無処理区の花芽分化は15℃区と差がなかったことから、両系統ともに、15℃よりも比較的低い温度条件下で花芽分化をする性質があり、分化可能な温度域(20℃以下)に達した時の感応が累積して花芽分化に至るものと推察された。一方、名寄系において、無処理区の花芽分化が15℃区よりも遅れていたことは、感応効果の累積が25℃以上の高温で打ち消されたことに起因するとも考えられた。以上の結果は、本品種が感温性であることを示すものである。

3系統を比べると、名寄系は各温度条件下において、他の2系統よりも花芽分化が著しく遅れ、同じ一貫種でも長年寒冷地で維持された名寄系は、花芽誘導が遅れる生態型に分化していることが明らかである。また、筑波系は、他2系統と比べ、より低い温度域で感応することが判ったが、これも生態的分化の一つと考えられる。

3. 温度処理が植物体の生育に及ぼす影響 (Table 25)

長崎系において、さく果の大きさ及び各部位の乾物重は25℃区が最も高く、15℃区、20℃区及び無処理区間には有意差は認められなかった。筑波系では、さく果の大きさ及び各器官の乾物重は25℃区が最も高く、無処理区が最低で、15℃区と20℃区の間には有意な差は認められなかった。これらに対して名寄系においては、全調査項目とも各区間に有意差は認められなかったが、25℃区が比較的高い傾向が認められた。また、名寄系は、他の2系統と比べ、すべての温度条件下においてさく果が大きく、且つ各器官の乾物重も高かった。

全系統を通じ、さく果の大きさや各部位の乾物重の多少は、花芽分化時期の早晩と完全に

一致し、花芽分化に入る前の栄養生长期間が長い区ほど、さく果の大きさや乾物重及び茎葉や根の乾物重は大きくなった。さく果の大きさはアヘン収量と密接な関係にあり、従って、アヘン収量を高めるためのケン栽培法の基本は、栄養生长期間をある程度長く確保することであり、それは短日、もしくは25℃以上の高温期間を利用することによって可能であることが明らかとなった。

Table 22 Experimental design

Plots	Sowing date	Date of temperature treatment ¹⁾	(Period)
15°C	Jan. 14th, 1991	From Jan. 22nd, 1991 to Feb. 19th, 1991	(28 days)
20°C	Feb. 15th, 1991	From Feb. 22nd, 1991 to Mar. 19th, 1991	(25 days)
25°C	Dec. 8th, 1990	From Dec. 14th, 1990 to Jan. 22nd, 1991	(38 days)
Non-treated ²⁾	Dec. 8th, 1990		

- 1) In the growth cabinet under 15 hours photoperiod supplemented by 40w incadescent lamp. Before and after treatment they were cultivated in the greenhouse.
- 2) cultivated in the greenhouse under 15 hours photoperiod supplemented by 40w incadescent lamp (light intensity was 60 lux). Mean air temperature during cultivation is shown in Fig.21

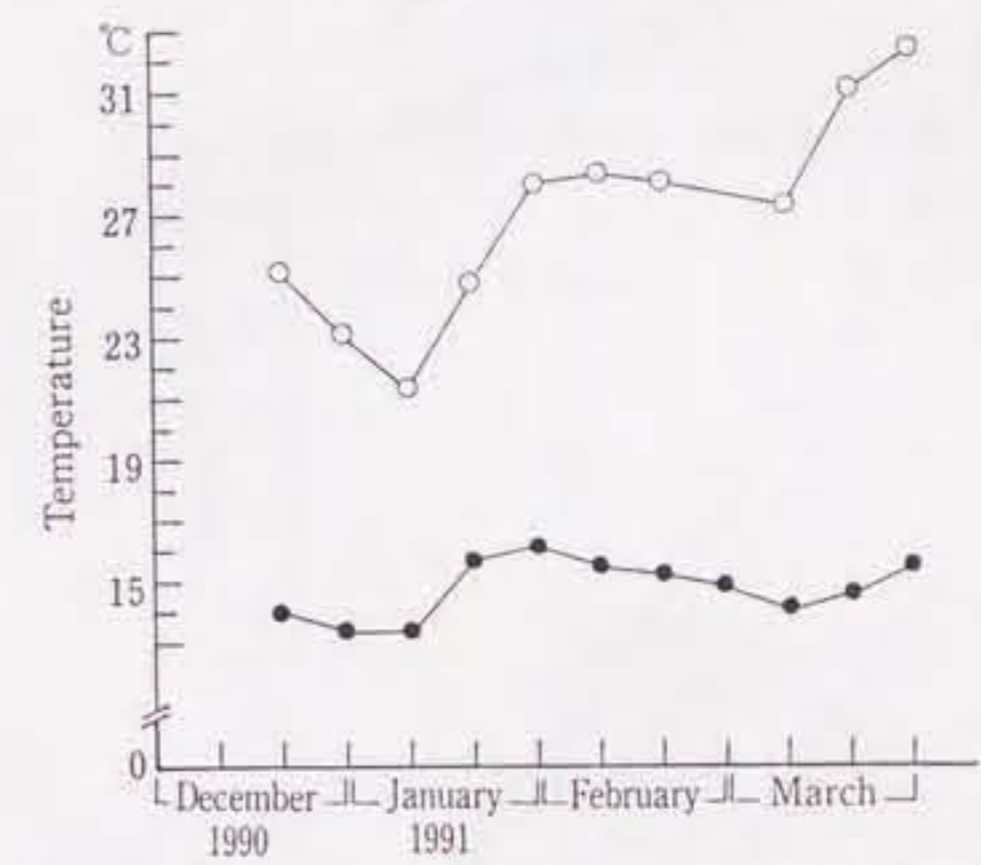


Fig.21 Mean air temperature at each 10-day period of month in greenhouse during cultivation
 ○ : Maximum, ● : Minimum

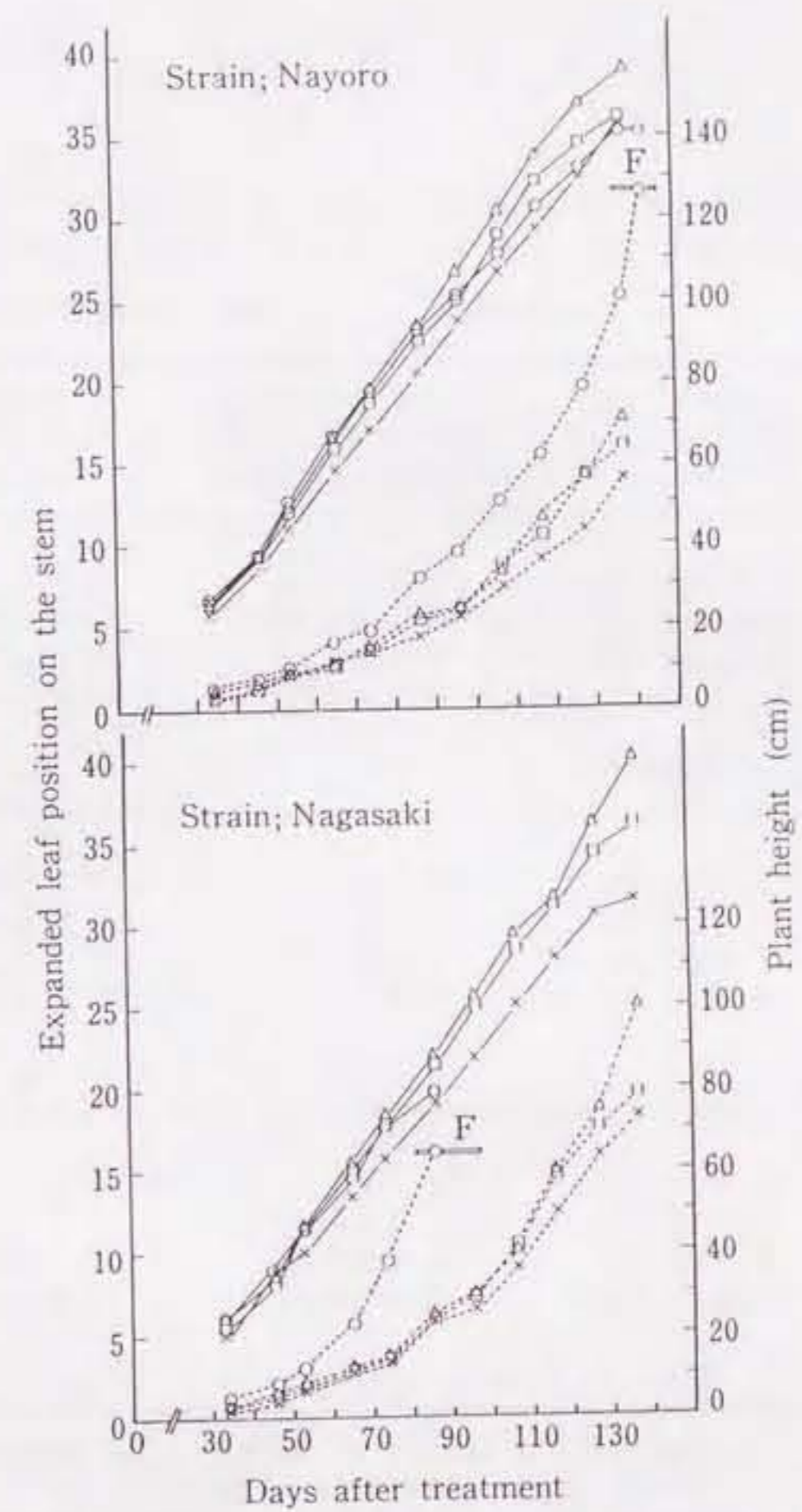


Fig.22 Effect of daylength on flowering of *Papaver somniferum* L. cv. *Ikkanshu*

— Expanded leaf position on the stem
 Plant height
 ○ ; 15 hours photoperiod, △ ; 12 hours,
 □ ; 10 hours, × ; 9 hours
 F ; flowering period

Table 23 Effect of temperature treatment on young seedlings cultivated in 15 hours photoperiod on flower bud differentiation and growth of *Papaver somniferum* L. cv. *Ikkanshu*

Strain Plots	Days from germination to flowering	Expanded leaf position on the stem at flowering	Plant height at flowering (cm)	Leaf No. at flowering
Nayoro				
15°C	73.2±3.3 ^a	21.6±0.9 ^a	97.4±7.0 ^b	10.2±0.4 ^a
20°C	75.8±5.1 ^a	26.0±1.9 ^b	97.3±10.8 ^b	14.3±3.1 ^c
25°C	107.3±1.9 ^c	32.8±4.0 ^c	101.5±15.3 ^b	12.3±2.5 ^b
Non-treated	95.3±3.3 ^b	27.8±1.1 ^b	78.2±15.6 ^a	12.0±1.0 ^{a,b}
LSD(p=0.05) ¹⁾	3.87	2.65	16.6	1.90
Nagasaki				
15°C	53.0±2.5 ^a	12.5±0.8 ^a	54.6±6.4 ^a	7.5±1.1 ^{a,b}
20°C	51.5±2.1 ^a	14.0±1.6 ^b	50.9±5.1 ^a	8.5±0.6 ^b
25°C	91.7±1.2 ^c	28.2±0.8 ^c	73.6±3.7 ^b	14.0±1.6 ^c
Non-treated	68.3±2.3 ^b	12.8±1.0 ^{a,b}	56.4±4.6 ^a	7.1±0.4 ^a
LSD(p=0.05)	2.85	1.47	6.3	1.19
Tsukuba				
15°C	52.8±2.4 ^a	12.6±1.1 ^b	53.0±6.4 ^b	7.6±0.9 ^b
20°C	52.5±2.4 ^a	14.0±0.6 ^c	54.0±2.3 ^b	9.2±1.0 ^c
25°C	92.3±1.2 ^c	26.0±1.0 ^d	63.8±7.4 ^c	13.6±1.1 ^d
Non-treated	66.0±2.1 ^b	11.4±0.6 ^a	45.5±2.3 ^a	6.0±0 ^a
LSD(p=0.05)	1.77	1.06	5.8	1.04

Each value is mean of 6 plants ± standard deviation.
 Values with different superscripts are significantly different from each other.
 1) represents least significant difference at 5 % level.
 NS; not significant at 5 % level.

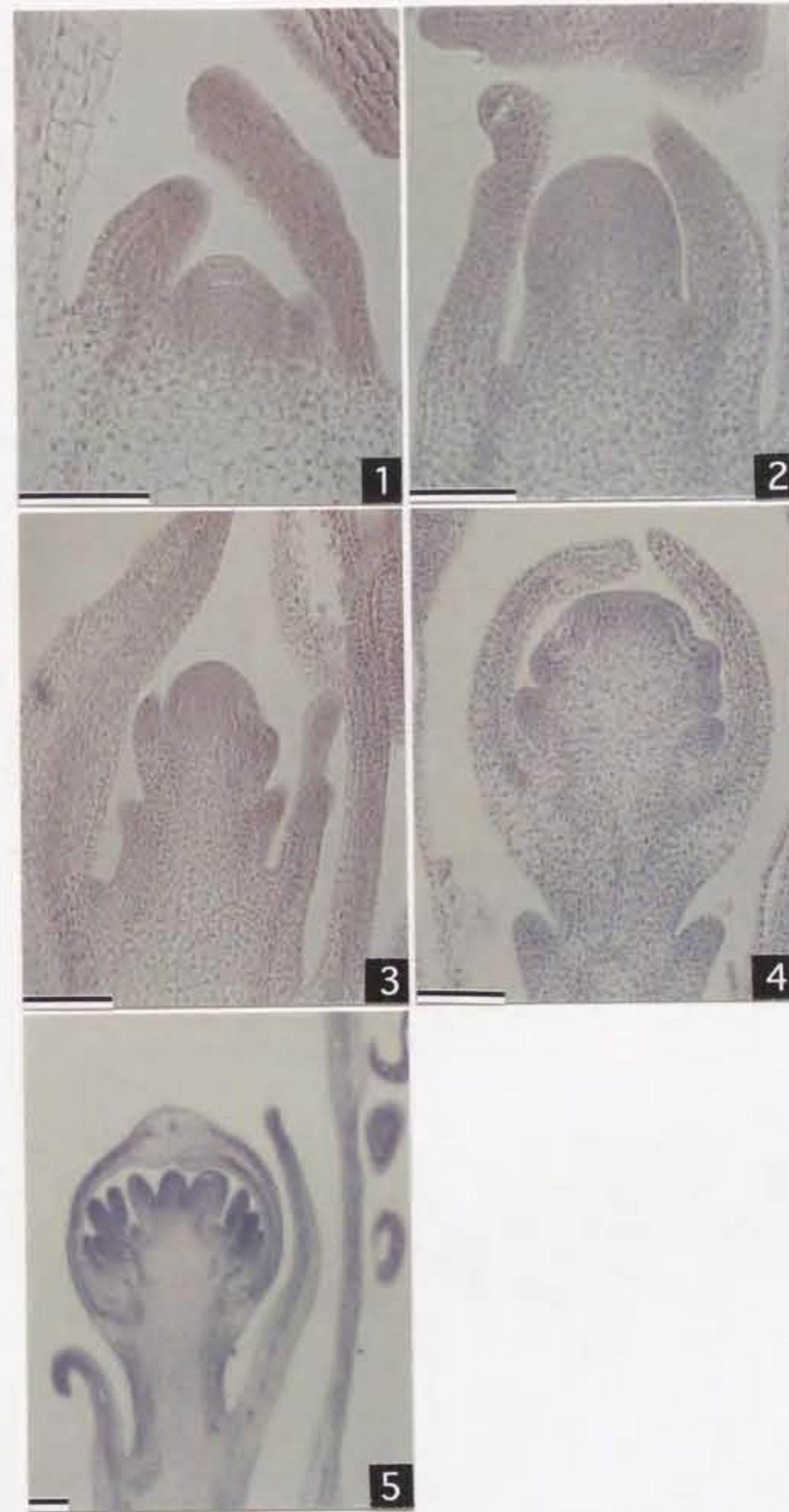


Fig.23 Differentiation and Growth Process of Apical Flower Bud
1; stage ND, 2; stage A ~ B, 3; stage C ~ D, 4; stage G ~ H,
5; stage L. Bars represent 0.1 mm.

Table 24 Effect of temperature treatment on young seedlings cultivated in 15 hours photo-period on apical flower bud differentiation and development of *Papaver somniferum* L. cv. *Ikkanshu*

Temperature treatment Strain	7 days after treatment		14 days after treatment		21 days after treatment		28 days after treatment	
	Seedling age	Flower bud stage	Seedling age	Flower bud stage	Seedling age	Flower bud stage	Seedling age	Flower bud stage
<u>15°C</u>								
Nayoro	2L ¹⁾	—	4L	—	6L	ND :5	7~8L	ND :3 A~B:4
Nagasaki	2L	—	4L	A~B:2 B :3	6L	C~D:3 D :1 D~E:1	6~7L	—
Tsukuba	2L	ND:5 ²⁾	4L	A~B:1 B :3	6L	C :1 C~D:2 F~G:2	6~7L	G :2 I :1 K :1 L :1
<hr/>								
	7 days after treatment		12 days after treatment		20 days after treatment		25 days after treatment	
<u>20°C</u>								
Nayoro	2L	—	4~5L	ND :5	7L	ND :5	8L	ND :3
Nagasaki	2L	—	4~5L	ND :5	7L	ND :1 A~B:2 C~D:2 D :1	7L	D~E:2 G :1 G~H:1
Tsukuba	2L	ND:5	4~5L	ND :5	7L	ND :2 A~B:2 C~D:1	7L	—
<hr/>								
	9 days after treatment		14 days after treatment		22 days after treatment		38 days after treatment	
<u>25°C</u>								
Nayoro	2L	—	3~4L	—	5L	—	10L	ND:5
Nagasaki	2L	—	3~4L	—	5L	—	7~8L	ND:5
Tsukuba	2L	—	3~4L	—	5L	—	7~8L	ND:5
<hr/>								
<u>Non-treated</u>								
Nayoro	2L	—	3~4L	—	5L	—	10L	ND :2 A~B:3
Nagasaki	2L	ND:5	3~4L	—	5L	D :5	7~8L	H~I:1 K~L:2 L :2
Tsukuba	2L	ND:5	3~4L	—	5L	B :1 C~D:1 D :3	7~8L	I~J:2 K :1 L :3

1) indicates expanded leaf position on the stem.
 2) Numerals indicate number of plants. Capitals indicate degree of apical flower bud differentiation and development, and details of them are as follows. ND; undifferentiated (Fig.23-1), A; differentiated, B; bud elongated (Fig.23-2), C; sepal primordia (Fig.23-3), D; sepal formed, E; sepal elongated, F; sepal elongated further, G; petal primordia (Fig.23-4), H; petal formed, I; stamen and pistil formed, petal elongated, J; petal elongated further, stamen elongated, K; stamen elongated further, pistil growing, L; stamen elongated further, pistil growing further (Fig.23-5).

Table 25 Effect of temperature treatment on young seedlings cultivated in 15 hours photoperiod on growth of *Papaver somniferum* L. cv. *Ikkanshu*

Strain Plots	Size of capsule(cm) ²⁾		Dry weight (g/plant) ²⁾		
	Diameter	Length	Capsule	Leaf and stem	Root
Nayoro					
15°C	2.78±0.08	5.53±0.37	1.76±0.47	4.37±1.28	0.49±0.19
20°C	2.73±0.55	5.05±0.80	1.63±0.81	4.18±1.37	0.45±0.23
25°C	3.08±0.60	5.50±0.68	1.98±0.75	5.38±2.39	0.62±0.34
Non-treated	2.29±0.39	4.76±0.66	1.07±0.52	3.86±1.44	0.35±0.16
LSD(p=0.05) ¹⁾	NS	NS	NS	NS	NS
Nagasaki					
15°C	1.82±0.25*	4.15±0.53*	0.68±0.33*	1.22±0.48*	0.11±0.05*
20°C	1.86±0.19*	4.15±0.19*	0.64±0.31*	0.98±0.26*	0.10±0.37*
25°C	2.53±0.26*	5.05±0.44*	1.51±0.35*	3.05±0.69*	0.36±0.11*
Non-treated	1.76±0.23*	3.90±0.33*	0.64±0.11*	1.04±0.34*	0.10±0.08*
LSD(p=0.05)	0.296	0.509	0.312	0.601	0.038
Tsukuba					
15°C	1.71±0.18 ^b	4.05±0.51 ^b	0.56±0.18 ^{a,b}	1.14±0.50 ^b	0.10±0.04 ^b
20°C	1.94±0.15 ^b	4.35±0.40 ^b	0.83±0.16 ^b	1.09±0.13 ^a	0.13±0.03 ^b
25°C	2.23±0.32 ^a	4.92±0.49 ^a	1.15±0.39 ^a	2.33±0.68 ^a	0.23±0.07 ^c
Non-treated	1.39±0.14 ^a	3.32±0.21 ^a	0.40±0.07 ^a	0.57±0.10 ^a	0.04±0.02 ^a
LSD(p=0.05)	0.260	0.540	0.282	0.516	0.058

Notes are the same as those in Table 23
2)On the 15th day after flowering.

第2節 摘要

名寄（北海道）、筑波（本州中部）及び長崎（九州）で長年栽培されているケシの栽培品種「一貫種」を材料にして、日長時間（9～15時間）並びに温度（15～25℃）が花芽の分化とその後の発育に及ぼす影響について検討し、以下の結果を得た。

1. 日長試験の結果、9時間の短日条件下でも花芽分化はみられるものの反応は極めて緩慢であり、日長時間が長いほど開花までの日数は短縮され、日長感応性が顕著であった。
2. 20℃以下の温度条件で花芽は分化し、より低温の15℃の方が感応しやすく、25℃では花芽分化は抑制された。また、分化後の花芽の発育には20℃が適していると考えられた。以上の結果から、本種は感温性であると結論した。
3. 日長及び感温性の両試験において、名寄系統は他の2系統と比べ明らかに花芽分化が遅れ、また、筑波系統は他の2系統と比べ、より低温を要求する性質を有していることが判明し、それぞれ異なった生態型に分化していることが明らかとなった。
4. アヘン収量と密接な関係にあるさく果の大きさ及び乾物重は、花芽分化の早晚と完全に一致し、花芽分化前の栄養生長期間が長い条件区及び系統で高い結果となった。

第5章 総合考察

薬用植物はその利用方法により、漢方薬の原料としての生薬、香辛料や茶・入浴剤原料及びある特定成分の抽出原料とに大別される。現在日本で使用されている漢方薬原料である生薬は、需要量の約80%を中国・韓国はじめ海外からの輸入に依存している。さらに、その多くは野生品の採取に頼っているのが現状であり²⁸⁾、乱獲や自生環境の悪化により絶滅の危機に瀕している種も報告されている等、その保全が急がれている^{12, 51)}。一方、生薬の品質は、基原植物や気象条件・収穫時期・生育年数・生育地域や土壌条件及び収穫後の乾燥方法等によって不安定になりやすく、その耕種技術的解決が望まれている。しかし、生薬の栽培化研究は、このような社会的要請があるにもかかわらず、明治政府の漢方医学切り捨て政策の影響もあって立ち遅れているのが現状である。また、厚生省が定めている「日本薬局方」^{34a)}及び「日本薬局方外生薬規格」³⁷⁾に記載されている生薬の基原植物184種類の内、第1章別表Iに示したように、約40%の種類は地下部器官が生薬として用いられているにもかかわらず、地下部器官を生薬として利用する薬用資源植物の栽培に関する研究、特に土壌条件との関連についての研究は殆ど行われてこなかった。緒論で述べたように、薬用植物資源の保存と保護の面からも、また、生薬を安定的に供給し且つその品質を安定化させるためにも、正しい基原植物を、栽培基準に基づいて生産・供給しうる体制の確立が強く望まれ、農学的な面からの栽培研究が求められているのである。

第1章においては、薬用植物における漢方薬及び生薬の位置、並びに特定の薬効成分抽出原料として利用される薬用植物について明確し、漢方医学をささえる薬である生薬に関する基礎学問としての本草学の歴史的背景、及び日本におけるそれらの発展の経緯と西洋医学や近代植物学がもたらされた歴史的経緯・背景について論じた。さらに、今日の日本における漢方薬がおかれている社会的状況や、その原料である生薬の供給状況、並びに鎮痛薬モルヒネの抽出原料であるアヘンの利用方法及びその研究経緯と社会的必要性や供給状況、さらに

は、これらの基原植物の栽培に関する研究の現状及び栽培技術上の諸課題を明確にし、本研究の目的と、その栽培技術的な意義付けを行った。

第2章は、栽培化が強く求められ、根が利用対象部となる生薬黄耆の基原植物、ナイモウオウギ及びキバナオウギの栽培技術上の諸課題の解決を目指した研究の成果をとりまとめたものである。ナイモウオウギの栽培化を図る上での技術上の大きな課題の一つは、発芽の不揃いである。この原因は、採取後の豆果や種子の乾燥過程で生ずる硬実による吸水阻害に起因することを明らかにし、その硬実打破法として、種子を水とともに冷凍庫内で凍結させ、その後解凍する方法が効果的であること、また、この凍結処理は30日以上行った場合に、より効果が強まることを明らかにした。

さらに、より短期間での凍結処理法を確立するために、凍結温度（ -196°C から -20°C ）及び処理時間（10分から24時間）を検討した結果、 -20°C での急速凍結を24時間行った後、 40°C で速やかに解凍する方法が、最も効率良く硬実を打破し、幼植物への傷害が出現する頻度が低いことを明らかにした。そして、この方法が硬実打破に有効性を示す生理学的・形態学的背景について、硬実の種子においても、わずかであるが種瘤やへそ（hilum）を通じて入った水が¹⁴⁾、急速な凍結と解凍の過程で硬い種皮の一部を破壊して、種子の吸水を容易にすることによって硬実を打破したものと考察し、硬実種子を形成する他の薬用資源植物種への応用の道を示した。

そして栽培農家が簡便に利用できる方法の開発を検討した結果、本処理を行った後、 5°C 下に保存した場合、硬実打破効果は少なくとも140日間は維持されることも明らかとし、圃場での栽培において、安定した発芽を得るための種子への安全且つ簡便で実用性の高い処理法を確立した。

ナイモウオウギ及びキバナオウギは、ともに地下部に太い主根を形成し、その主根は地下深く伸長する性質をもっている。両種の栽培化を進める上でのもう一つの大きな課題は、生薬として用いる根が、特に中国産市場品にみられるような、分枝根の発生が少なく主根が長く伸びた形状（以下、直根状と表現する）のものを国内生産する栽培技術の確立である

50a, 53)。この課題を解決するために、ナイモウオウギを供試し、根箱を用いた湛水処理及び施肥位置を変えた実験を行った。その結果、主根とほぼ同じ内部形態を示す太い1次側根の発生は、湛水処理時の推定主根長の位置に多く認められ、主根先端部が過湿処理によって障害を受けたことに対するその補償作用として、太い1次側根が湛水処理時の根端近傍に多く形成されたものと考えられた。この結果は、土壌の過湿状態が分枝根の発生に密接に関わっていることを示唆するものであり、栽培圃場の排水不良または高い地下水位レベルが主根先端部に障害を起し、これが主根の伸長阻害及び分枝根の発生を促す一要因であると推察され、圃場の選択や整備に際しての一つの指標を提示した。なお、肥料の施用位置と太い1次側根の発生位置との間には、明らかな対応関係は認められず、主根の伸長や分枝根の発生には、肥料の直接的な影響は少ないことも併せて明らかにした。

生薬黄耆の国内での主要な生産地は岩手県、茨城県及び北海道である^{52b)}。これらの地域における栽培圃場の主要な土壌群は、黒ボク土、褐色森林土が大部分を占めている(黒ボク土：岩手、56.3%；茨城、79.2%；北海道、36.9%。褐色森林土：岩手、31.9%；茨城、4.4%；北海道、15.1%。)¹¹⁾。そこで、これらの土壌型の違いが、根の発育、希エタノールエキス含量、並びに薬用成分である配糖体(イソフラボノイドI~V及びastragaloside I~IV)含量に及ぼす影響を明らかにするために、両土壌群を含む土性や3相組成の異なった4種の土壌を供試してキバナオウギを比較栽培した結果、砂土と褐色森林土区で良好な生育を示し、主根中のイソフラボノイド含量が高まる結果を得た。これまでに、磷酸肥料を多く施した場合に、生育と共にイソフラボノイド含量が増加することが指摘されており²⁾、砂土中の磷酸含量は他3区に比べ著しく高く、これが砂土区が良好な生育を示し、且つイソフラボノイド含量が高かった理由の一つと考えられた。しかし、主根の伸長や分枝根の発生程度には差が認められず、土性や3相組成の違いは、主根の伸長や太い分枝根の発生・発達に直接的な影響を及ぼさないことが明らかとなった。

そこで、圃場をトレンチャー及びバックホーによる80cm、トラクターによる25~30cmの耕耘を行い、キバナオウギを用いて栽培圃場の土壌硬度と根の発育との関連について検討し

た結果、トレンチャー区においてのみ、中国産市場品と同様の直根状の根が得られた。一方、地表下50cmにおける気相割合がトレンチャー区とほぼ同一の値であったが、硬度には顕著な差が認められたバックホー区では、トラクター区及び無耕耘区と同様に分枝根の発生は著しく、土壌硬度が主根の伸長や分枝根の発生に極めて強く影響を及ぼすことが明らかとなった。各区の貫入抵抗値の比較によって、貫入抵抗値6~14kg/cm²以上の土層や、土塊が生育初期に主根直下に存在した場合、主根の伸長が阻害され、分枝根が多発することを推定した。トレンチャーによる栽培法によって得られた根は、品質の指標の一つである希エタノールエキス含量に影響が認められなかったが、薬用成分であるイソフラボノイド含量は低く、一方、astragaloside類の含量は高くなる傾向が認められた。Astragaloside類は皮部に多く含有されるため、細い根ほど含量が高まることが指摘されているが^{1, 2)}、本区から得られた根は他の3区に比べて細く（乾物重が同じであるため、主根が長く伸長した分、主根は細くなっている）、その結果、astragaloside類の含量が高くなったものと考えられた。

これらの結果から、両種の主根の伸長及び太い分枝根の発生・発達には、栽培圃場の地下水位レベルや排水性、及び土壌硬度が密接に関係し、地下水位レベルが低く、排水良好で、膨軟な砂質土壌の圃場で栽培することによって、日本においても、中国産市場品にみられるような直根状の生薬の効率的な生産が可能であるとの結論を得た。また、ナイモウオウギに関しては、種子の発芽が改善され、圃場での安定的な栽培生産が可能となった。さらに、リン酸肥料などの施肥条件を再検討することにより、主根中のイソフラボノイド含量の増減は可能と思われ、薬用成分含有量の均一化も今後可能であると考えられる。以上の成果はいずれも、生薬黄耆の国内栽培生産化に対して多大な貢献をもたらすものであるばかりでなく、特に、主根の伸長及び太い分枝根の発生・発達には圃場の地下水位および土壌硬度が密接に関係するとの結果は、黄耆に止まらず、直根状の生薬の供給が求められている他の生薬（防風、ボウフウ *Ledebouriella seseloides* Wolff, セリ科の多年草; 牛膝、イノコヅチ *Achyranthes fauriei* Lev, et Van 又は *A. bidentata* Blume, ヒユ科の多年草, 等）の栽培技術にも応用しうると考えられる。これまで、日本においては、中国産市場品にみられるような直根状の各種生薬の生産が不可能とされていたが、本研究によって生産が可能であることが実証された。本

技術は、今後、生薬の国内栽培生産の発展に大きく寄与するものと思われる。

第3章は、生薬川芎の原植物であるセリ科の多年草センキュウの栽培技術上の課題、特に施肥法についての研究成果をとりまとめたものである。本生薬は、中国産と日本産は生薬名は同一であっても、その基原植物が日本と中国ではそれぞれ異なるため^{8, 34d}、日本においては中国産の生薬川芎は使用できない状況にあり、すべてを日本国内での栽培生産によって供給する必要がある。センキュウは寒冷地に適し、その根茎を利用する植物であり、現在北海道を中心に本州北部から中部にかけて栽培されているが、地域や年により収量が著しく変動することから^{52c}、安定した収量を得るための施肥条件について、特に施肥時期と生育・収量との関係について、北海道名寄市において圃場試験を行った。

北海道では11月以降に収穫すると、その後の乾燥過程で収穫物が凍結するおそれがあり、通常10月中旬までに収穫作業を終える¹⁶。このような北海道の作型において、5月期（萌芽後1ヶ月半以内）の施肥は、特に子イモの肥大成長を促進し、収量の増加に最も効果的であったが、7月・8月期の施肥は、秋における地上部の生育は高めたものの、地下部の生育までその効果が反映せず、収量への効果は認められなかった。その原因を明らかとするため、収量と密接に関係する植物体中の窒素含有率²⁰を器官別に経時的に測定した結果、5月の施肥では子イモの肥大成長が最も盛んになる直前の8月中旬までに、窒素は地下部に多く認められるのに対し、7~8月上旬の施肥ではそれが9月中旬~10月になり、地下部への肥効が十分現れないまま収穫期を迎えたものと考えられた。すなわち、吸収された窒素は施肥後1ヶ月以内に地上部へ移行するが、地下部への移行は施肥後2ヶ月半~3ヶ月に起こると考えられ、このような地下部への窒素の移行の遅れが、夏の追肥が収量に反映しない主な原因であると考えられた。以上の結果に基づき、北海道の作型においては、年間施肥量のうち半量を秋の苗定植時に基肥として施し、残り半量を翌年春、萌芽後1ヶ月半以内に追肥として施すのが安定した収量を得るための効率的な施肥法であり、夏における施肥は効果が少な

いと結論に達した。また、収穫が11月下旬以後に行われる岩手県や群馬県など本州北部～中部地域においては、夏の追肥も効果的である可能性も指摘した。本結果は、安定した収量及び品質の均一な生薬を得るための基準栽培法（改良法）として、厚生省の薬用植物栽培指針にも盛り込まれ、本生薬の安定生産に寄与している。

第4章は、アヘンの国内生産を図る上での一つの重要な課題として、ケシ栽培品種「一貫種」の花芽の分化と、その後の発育に及ぼす日長時間並びに温度に対する反応に関する成果をとりまとめたものである。鎮痛薬原料であるアヘンは、未熟さく果に切り傷をつけ、溢泌する乳液を集め乾燥させたものであり、その収量はさく果の大きさと、そして、さく果の大きさは花芽分化の早晚と、それぞれ密接な関係にあることが明らかとなっている⁴²⁾。ケシの花芽分化は、一般に長日条件により誘導されると考えられているが^{13, 42)}、育成以来約60年を経過し、現在日本各地で栽培されている栽培品種「一貫種」³⁶⁾に関して、日長時間や温度が花芽分化に及ぼす影響について論じた報告は見あたらない。その最大の理由として、ケシが麻薬取締法のもとで一般栽培が禁じられていたことや、アヘンを安価な海外市場に依存していたことなどによって、国内での品種改良のみならず、ケシの発育生理学的諸性質の研究も殆ど行わないまま現在に至ったことが挙げられる。

そこで、名寄（北海道）、筑波（本州中部）及び長崎（九州）で、長年の間継代栽培されてきた系統を材料にして、花芽分化に及ぼす日長時間（9～15時間）及び温度（15～25℃、自然変温）の影響を、経時的な観察を通して検討した。日長試験の結果、反応は極めて緩慢ながら9時間の短日条件下でも花芽分化は認められたが、日長時間が長いほど開花までの日数は短縮され、顕著な日長感応性が認められた。このことは、「一貫種」の感光性には、きわめて複雑な一面のあることを示すものである。

温度の影響を調べた結果、花芽は20℃以下の温度条件で分化し、25℃以上では分化が抑制され、また、分化後の花芽の発育は20℃が適していることが判明した。カブの花芽形成において、低温感応は累積し、途中での高温処理によってその累積効果はある程度打ち消さ

れることが指摘されており^{60, 61}), ケシにおいてもより低温条件下で花芽分化は早く進み, 分化可能な温度域(20℃以下)に達した時の感応が累積して花芽分化に至るものと思われた。以上の結果から, 本品種は感温性であると結論した。

このような日長及び感温性の両試験をつうじ, 名寄系統は他の2系統と比べ明らかに花芽分化が遅れ, また, 筑波系統は他の2系統と比べ, より低温を要求する性質を有していることが判明し, それぞれ異なった生態型に分化していることも明らかとなった。これまで, 栽培品種「一貫種」は, いずれの地方で保存されているものも同一の特性を有しているとの認識が一般的であったが, これらの結果から, 長年継代栽培されてきたものは, その地方の気象条件に適応した系統に, それぞれ分化していることがはじめて明らかとなった。本研究の成果は, 今後, 全国にケシの栽培生産を普及させるにあたり, その地方の気象条件や, 基幹作物の農作業を考慮した上で, 適当な系統の選択基準を提供したものであり, より効率の高いアヘン生産に貢献しうるものと思われる。

以上の研究成果は, 生薬黄耆及び川芎, 並びにケシの安定生産並びに品質の安定化に寄与したにとどまらず, 栽培生産が求められている他の多くの生薬がかかえる諸課題の解決に対して, 農学的な側面からの栽培技術的研究の重要性を, 具体的に提示したものであると確信する。

紀元200年頃に生まれた中国医学は, 紀元400年頃における日本への伝来後, 1500年代に独自の漢方医学として発展し, 以後人類の生命を守り, 苦しみから救ってきた。明治維新以後衰退の憂き目をみたが, その治療理論は現代社会においても再評価され, 1976年に再び疾病治療の場に登場し, 以来多くの人々の健康維持に貢献してきた。また, ヨーロッパで発達し, 江戸末期に日本へ伝来した西洋医学は, 疼痛はじめさまざまな人の苦しみを緩和し, 外科治療により, 多くの人命を救ってきた。本研究により得られた成果は, 日本の伝統医学(漢方医学)及び西洋医学をささえる薬の品質の均一化, ならびに安定供給に貢献するものであり, 長寿社会を迎えた今日, その成果の意義はさらに大きなものと考えられる。

謝辞

本稿をまとめるにあたり、終始ご懇切なご指導・ご鞭撻を賜りました、名古屋大学農学部作物科学講座 河野 恭廣教授に慎んで厚く御礼申し上げます。

本研究を行う機会を与えて頂きました、国立衛生試験所長 寺尾 允男博士、国立衛生試験所副所長 斎藤 行生博士、国立衛生試験所生薬部 佐竹 元吉部長に厚く御礼申し上げます。

本研究につきまして種々のご指導・ご助言を賜りました、国立衛生試験所筑波薬用植物栽培試験場長 西 孝三郎博士、北海道薬用植物栽培試験場 畠山 好雄場長、筑波薬用植物栽培試験場育種生理研究室長 下村 講一郎博士、筑波薬用植物栽培試験場栽培研究室 酒井 英二博士、東北大学理学部教授 大橋 広好博士並びに北海道立衛生研究所薬理毒性部科長 姉帯 正樹博士に厚く御礼申し上げます。

さらに、本研究に関し、種々ご協力を頂きました、国立衛生試験所筑波薬用植物栽培試験場並びに北海道薬用植物栽培試験場の職員皆様に深謝致します。

引用文献

- 1) 姉帯正樹, 桂 英二, 加藤芳伸, 山岸 喬 (1994): 黄耆の化学的品質評価. *Nat. Med.*, **48**, 244-252.
- 2) 姉帯正樹, 桂 英二, 南山 豊, 三浦豊雄, 金島弘恭, 山岸 喬 (1995): キバナオウギの施肥条件が生育, 収量および黄耆の配糖体含量に及ぼす影響. *Nat. Med.*, **49**, 284-287.
- 3) 姉帯正樹, 兼俊明夫, 柴田敏郎, 飯田 修, 畠山好雄 (1996): ナイモウオウギを基原とする北海道産黄耆の化学的品質評価. *Nat. Med.*, **50**, 163-169.
- 4) 朝比奈泰彦 (1955): “正倉院薬物”, 植物文献刊行会, 京都.
- 5) Bradbeer, J. W. (1988): “Seed dormancy and germination”, Chapman and Hall, New York, pp. 40-42, 71-73.
- 6) Brant, R. E., G.W. Mckee and R.W. Cleveland (1971): Effect of chemical and physical treatment on hard seed of penngift crownvetch. *Crop Sci.*, **11-1**, 1-6.
- 7) 中国科学院植物研究所主編 (1980): “中国高等植物図鑑, 第二冊”, 科学出版社, 北京, pp. 419-424.
- 8) 中華人民共和国衛生部薬典委員会編 (1995): “中華人民共和国薬典 (一部) 1995年版”, 広東科技出版社, 上海, p. 30.
- 9) Crocker, W. and L.V. Barton (1957): “Physiology of seeds. An introduction to the experimental study of seed and germination problems”, Chronica Botanica Company, Mass. U.S.A., pp. 123-126.
- 10) Dodge, B.S., 白幡節子訳 (1992): “世界を変えた植物”, 八坂書房, 東京, pp. 210-243.

- 11) 土壤保全調査事業全国協議会編 (1991) : “日本の耕地土壌の実態と対策” , 博友社, 東京, p. 293.
- 12) Fu Li-kuo, Jin Jian-ming (1992) : “China Plant Red Data Book, Volume 1” , Science Press, Beijing.
- 13) Gentner, A., R. Taylorson and H. Borthwick (1975) : Responses of poppy, *Papaver somniferum*, to photoperiod. Bulletin on Narcotics, 27, 23-31 .
- 14) Hamly, D. H. (1932) : Softening of the seeds of *Melilotus alba*. Bot. Gaz., 93, 345-375.
- 15) 早川力夫, 真木芳助 (1976) : アルファルファの硬実率の系統間差異と硬実消去法. 北海道農業試験場研究報告, 116, 43-52.
- 16) 逸見誠三郎, 本間尚治郎, 畠山好雄 (1967) : センキュウの栽培試験 (第1報). 衛生試験, 85, 105-107 .
- 17) Hikino, H., S. Funayama and K. Endo (1976) : Hypotensive principle of *Astragalus* and *Hedysarum* roots. Planta Medica., 30, 297-302.
- 18) ヒキノヒロシ (1982) : 黄耆の成分と生理活性. 現代東洋医学, 3 (2), 46-50.
- 19) 広田正男, 内 和鑑, 王 淑琴, 古谷 力 (1992) : キバナオウギ毛状根の誘導と *Astragalosides* の生成について. 日本生薬学会第39回年会講演要旨集, p. 166.
- 20) 北海道立北見農業試験場 (1988) : 薬用作物 (センキュウ・トウキ) の試験研究成果, 北見農試資料第4号, 5-38.
- 21) 星川清親 (1980) : “新編食用作物” , 養賢堂, 東京.
- 22) 船引慎吾 (1972) : “新編土壌学講義” , 養賢堂, 東京, p. 229 ; 増尾 清 (1969) : “土の健康診断と処方” , 誠文堂新光社, 東京, p. 76.
- 23) 石原明 (1963) : “漢方, 中国医学の精華” , 中央公論社, 東京, pp 2-133.
- 24) 石井和夫 (1988) : 土壌・栄養診断機器開発の現状 (1). 農業技術, 43, 481-485.
- 25) 一戸良行 (1990) : “麻薬の科学” , 研成社, 東京, pp. 23-114.

- 26) Katayama, T. (1978) : Photoperiodism in the genus *Oryza* VIII. Accumulation effect (2).
Jap. Jour. Crop. Sci., **47**, 249-254.
- 27) 河合 武 (1988) : 薬草の栽培及び育種の現状と問題点 (1). 農業技術, **43**, 315-318.
- 28) 河合 武 (1989) : 薬草の栽培及び育種の現状と問題点 (2). 農業技術, **44**, 14-15 ; 薬草
の栽培及び育種の現状と問題点 (3). 162-165.
- 29) 木下孝三 (1959) : ケシ (*Papaver somniferum* L.) の花芽分化と開花について. 衛生試
報, **77**, 273-278.
- 30) 木村陽二郎 (1981) : “シーボルトと日本の植物”, 恒和出版, 東京.
- 31) 木村陽二郎 (1988) : “江戸期のナチュラリスト”, 朝日新聞社, 東京.
- 32) Kono, Y., A. Yamauchi, T. Nonoyama, J. Tatsumi and N. Kawamura (1987) : A
rivised experimental system of root- soil interaction for laboratory work. Environ.
Control in Biol., **25** (4), 141-151.
- 33) 木島正夫 (1990) : 中国の生薬を地誌的に観る, 現代中国生薬地誌. 生薬, **44**, 67-87.
- 34) a) 厚生省 (1996) : “第十三改正日本薬局方” ; b) p. 1111 ; c) pp. 48-49 ; d) p.
1243.
- 35) 厚生省薬務局 (1993) : “薬用植物, 栽培と品質評価 Part 2”, 薬事日報社, 東京,
pp. 25-34.
- 36) 厚生省薬務局麻薬課 (1989) : “けし植物図譜”, 第一法規出版, 東京, pp.105-106.
- 37) 厚生省薬務局審査課第二課 (1989) : “日本薬局方外生薬規格”, 薬事日報社, 東京.
- 38) 熊谷健夫, 畠山好雄 (1985) : ケシの花芽分化と発育について. 衛生試報, **103**, 106-
110.
- 39) 牧野富太郎著, 前川文夫, 原 寛, 津山 尚編集 (1973) : “牧野新日本植物図鑑”, 北
隆館, 東京, a) p. 442 ; b) p. 199.

- 40) 増尾 清 (1969) : “土の健康診断と処方”, 誠文堂新光社, 東京, p.76.
- 41) Midgley, A. R. (1926) : Effect of alternate freezing and thawing on the impermeability of alfalfa and dodder seeds. *Jour. Amer. Agron.*, **18**, 1087-1098.
- 42) Mika, E. S. (1955) : Studies on the growth and development and morphine content of opium poppy. *Bot. Gaz.*, **116**, 323-339.
- 43) 宮木高明 (1970) : “薬”, 岩波書店, 東京, pp. 40-57.
- 44) 宮崎安貞編録, 貝原楽軒副補, 土屋喬雄校訂 (1977) : “農業全書”, 岩波書店, 東京, a) pp. 324-345, b) p. 335.
- 45) 元田興喜 (1989) : 果樹園における土壌の硬さと水位の簡易診断法. *農及園*, **64** (11), 1288-1294.
- 46) 猛 艶清, 布目慎勇, 寺林 進, 岡田 稔, 白 効令, 葛 孝炎 (1993) : 黄耆の品質に関する研究 (1) 内蒙黄耆のアストラガロサイドについて. *日本生薬学会第40回年会講演要旨集*, p. 58.
- 47) 中山 包 (1976) : “発芽生理学”, 内田老鶴圃新社, 東京, pp. 234-238.
- 48) 難波恒雄 (1995) : 生薬資源と民族文化. *日本東洋医学雑誌*, **45** (4), 775-789.
- 49) 日本土壌肥科学会監修 (1990) : “土壌標準分析・測定法”, 博友社, 東京, a) pp. 14-21 ; b) pp. 127-131 ; c) pp. 31-35 ; d) p. 27.
- 50) 日本公定書協会監修 (1991) : “第十二改正日本薬局方解説書”, 廣川書店, 東京, a) pp. D 111-114 ; b) pp. D 535-537.
- 51) 日本植物分類学会編 (1993) : “レッドデータブック, 日本の絶滅危惧植物”, 農村文化社, 東京, pp. 84-140.
- 52) 日本特殊農産物協会 (1994) : 薬用作物 (生薬) 関係資料, a) pp. 7-43 ; b) p. 47 ; c) p. 52.

- 53) 西本和光 (1982) : 荊芥・連翹・黄耆の品質. 現代東洋医学, **3** (2), 51-56.
- 54) 西村三郎 (1989) : “リンネとその使徒たち, 探検博物学の夜明け”, 人文書院, 京都, pp. 27-46.
- 55) 農文協編 (1989) : “野菜園芸大百科12, ダイコン・カブ・ニンジン・ゴボウ”, 農山漁村文化協会, 東京, p. 478.
- 56) 野口弥吉監修 (1975) : “農学大事典”, 養賢堂, 東京, p. 955.
- 57) 大蔵永常著, 土屋喬雄校訂 (1977) : “広益国産考”, 岩波書店, 東京, p. 63.
- 58) Rincker, C. M. (1954) : Effect of heat on impermeable seeds of alfalfa, sweet clover and red clover. *Agron. Jour.*, **46**, 247-250.
- 59) Russell, R. S. (田中典幸訳) (1981) : “作物の根系と土壌”, 農村漁村文化協会, 東京, a) p. 77-78, b) p. 64-70.
- 60) 斉藤 隆, 斉藤秀幸 (1991) : カブの花芽形成における低温感応に対する高温の影響. 園学雑, **60** (別冊1), 316-317.
- 61) 斉藤 隆, 斉藤秀幸 (1991) : カブの花芽形成に対する温度と日長の相互作用. 園学雑, **60** (別冊1), 318-319.
- 62) Sakai, A. and M. Noshiro (1975) : “Some factors contributing to the survival of crop seeds cooled to the temperature of liquid nitrogen. In crop genetic resources for today and tomorrow (Frankel, O. H. and J. G. Hawkes edited)”. *Int. Bot. Programme*, **2**, 317-326, Cambridge Univ. Press., London.
- 63) 酒井 昭 (1987) : “凍結保存—動物・植物・微生物—”, 朝倉書店, 東京, 1987, p. 161.
- 64) 沢畑 秀 (1989) : サツマイモの塊根肥大特性に関する研究, 第2報 養分供給量の差異が塊根肥大に及ぼす影響. 日作紀, **58**, 290-296.

- 65) 上海科学技術出版, 小学館編(1985): “中薬大辞典”, 小学館, 東京, p. 121.
- 66) 柴田敏郎(1994): オウギ類の栽培について. 第4回薬用植物栽培技術フォーラム講演要旨集, p. 9-12.
- 67) 清水 茂監修, 野菜園芸大辞典編集委員会編(1977): “野菜園芸大辞典”, 養賢堂, 東京, pp. 1148-1149.
- 68) 白井光太郎著, 木村陽二郎編(1985): “白井光太郎著作集I巻, 本草学・本草学史研究”, 科学書院, 東京.
- 69) 植物栄養・土壌・肥料大辞典編集委員会(1976): “植物栄養土壌肥料大辞典”, 養賢堂, 東京, p. 422.
- 70) Stanwood, P. C. (1985), “Cryopreservation of seed germplasm for genetic conservation. In cryopreservation of plant cells and organs (Kantha, K. K. edited)”, 199-225 CRC Press., Florida.
- 71) Stanwood, P. C. (1987): Survival of sesame seeds at the temperature (-196°C) of liquid nitrogen. *Crop Sci.*, **27**, 327-331.
- 72) Stewart, G. (1926): Effect of color of seed, of scarification, and of dry heat on the germination of alfalfa seed and some of its impurities. *J. Amer. Soc. Agron.*, **18**, 743-760.
- 73) 高橋暁正(1989): “漢方の認識”, 日本放送出版協会, 東京, pp.19-44.
- 74) 高橋文次郎, 江口庸雄(1974): トマトおよびナスの花成に関する研究(第4報), トマトおよびナスの花芽分化におよぼす温度ならびに肥料の影響. *園学雑*, **43**, 237-246.
- 75) 田中典幸(1977): マメ科作物の根群形成に関する研究. *佐大農彙*, **43**, 1-82.
- 76) 寺島良安編, 和漢三才圖会刊行委員会編集(1993): “和漢三才圖会(上)・(下)”, 東京美術, 東京.
- 77) Thomson, J. R. (1979): “An introduction to seed technology”, Thomson Litho Ltd.,

Scotland, pp. 38-41.

- 78) 渡辺慶一, 高橋文次郎, 井上宏明 (1977): トマト及びびナスの花成に関する研究VI, トマトの花芽分化におよぼす温度と肥料の影響. 日大農獣医学部学術研究報告, **34**, 26-35.
- 79) 八幡敏雄, 田淵俊雄, 中野政詩, 雨宮 悠 (1984): "土壤物理実験 改訂版", 東京大学出版, 東京, pp. 22-39.
- 80) Yasue, T. (1966): Effect of very low temperatures on breaking hard-coatedness of milk vetch seeds. Res. Bull. Faculty of Agri. Gihu University, **22**, 10-20.
- 81) Zenk, M. H., 田畑 守 (1966): アヘン-その薬物史と功罪. Nat. Med., **50**, 86-102.

論 文 目 録

- 1) 柴田 敏郎, 三浦 忠一, 畠山 好雄 (1992): ケシの花芽分化と発育について (第2報) 日長時間および温度の影響. 衛生試験所報告, **110**, 53-59.
- 2) 柴田 敏郎, 熊谷 健夫, 沢井 清道, 畠山 好雄 (1993): センキュウの栽培に関する研究 (第2報) 生育, 収量に及ぼす施肥時期の影響. 生薬学雑誌, **47** (1), 5-11.
- 3) SHIBATA Toshiro and Yoshio HATAKEYAMA (1995): Breaking of Dormancy in the Seeds of *Astragalus mongholicus* Bunge (*Leguminosae*). Journal of Plant Physiology, **146**, 366-368.
- 4) SHIBATA Toshiro, Eiji SAKAI and Koichiro SHIMOMURA (1995): Effect of Rapid Freezing and Thawing on Hard-seed Breaking in *Astragalus mongholicus* Bunge (*Leguminosae*). Journal of Plant Physiology, **147**, 127-131.
- 5) 柴田 敏郎, 畠山 好雄, 牧野 佳子, 河野 恭広 (1995): *Astragalus mongholicus* Bunge 根の生育に及ぼす土壌環境の影響. Natural Medicines, **49** (4), 455-461.
- 6) 柴田 敏郎, 酒井 英二, 西 孝三郎, 姉帯 正樹 (1996): 異なる土壌で栽培したキバナオウギの生育および配糖体含量について. Natural Medicines, **50** (4), 296-299.
- 7) 柴田 敏郎, 酒井 英二, 西 孝三郎, 青柳 光敏, 姉帯 正樹 (1996): キバナオウギの生育および配糖体含量に及ぼす栽培圃場の耕起条件の影響. Natural Medicines, **50** (5), 349-353.

参 考 論 文 目 録

- 1) 柴田 敏郎, 畠山 好雄, 姉帯 正樹, 金島 弘慕 (1992) : 北海道北部地方におけるオウレンの無遮光栽培について. 生薬学雑誌, **46** (4), 310-316.
- 2) 柴田 敏郎, 三浦 忠一 (1994) : 天塩山地ピッシリ山の高等植物相について. 北海道の自然と生物, **9**, 20-31.
- 3) Park, C., N. Seong, T. Shibata, K. Nishi and E. Sakai (1994) : Morphological Characteristics of Pollen Grain in *Bupleurum falcatum*. Korean Journal of Breeding, **26** (2), 182-188. (In Korean language with English summary).
- 4) 酒井 英二, 柴田 敏郎, 川村 智子, 久田 陽一, 野呂 征男, 吉田 将士, 田中 俊弘 (1996) : ジュウヤクの生薬学的研究 (2), 遮光条件下で栽培したドクダミの生育およびフラボノイド配糖体含量. Natural Medicines, **50** (1), 45-48.
- 5) 柴田敏郎, 畠山好雄, 有本恵子, 永井吉澄 (1996) : 中国産生薬の基原・品質に関する調査・研究 (第1報), 青海省東南部地域に見られた生薬基原植物について. Natural Medicines, **50** (1), 58-64.
- 6) 姉帯 正樹, 兼俊 明夫, 柴田 敏郎, 飯田 修, 畠山 好雄 (1996) : ナイモウオウギを基原とする北海道産黄耆の化学的品質評価. Natural Medicines, **50** (2), 163-169.
- 7) 芝野 真喜雄, 松本 吉広, 草野 源次郎, 柴田 敏郎 (1996) : 国内薬用植物園で植栽されるカンゾウ属植物の調査と優良品種選抜のための基礎研究 I, 地上部のHPLCパターンと成分による比較. Natural Medicines, **50** (4), 273-283.

