

第6章 総 合 考 察

作物の生育期間は何段階かの生育期(Growth Stage)に分けることができると考えられ、施肥改善などを通して収量向上を図る場合、あらかじめ各生育期の栄養生理的意義を把握しておくことは重要である。水稻ではその生育期間中に多くの生育期(相)の存在することが指摘され、それぞれ栄養生理的意味づけがなされ、実際の施肥対策に応用されている⁴⁷⁾。

小豆の生育日数は品種の早晩性や気象条件によって異なるが、ほぼ110～135日の範囲にあり、平均すれば120日前後である。この生育期間の中で重要とされている時期は、現時点で開花始(播種後60日前後、7月下旬)のみであり、他は最終の成熟期が設定されているに過ぎない。このように、小豆はもとより大豆、菜豆など豆類に共通して栄養生理に基づいた生育期は十分検討されておらず、便宜的に開花盛期、最繁期登熟盛期などの時期が用いられているが、その概念は明確でない。この原因として、豆類の特性としての栄養生長、生殖生長の重複、あるいは生殖生長でも開花、結莢、莢伸長、子実肥大がそれぞれ重複して進行するなど、時期の特定が困難であるためと考えられる。本研究では、まず小豆の生育経過と関連づけながら窒素、炭水化物の集積過程を通して、基本となる生育期の設定を試み、その栄養生理的意義を考察した。

小豆は播種後2週間前後で発芽し、順次出葉展開しながら生長し、播種後60日前後で開花始となるが、この開花前の生育は極めて緩慢である。窒素の総集積量は低く推移するが、生長量が小さいため窒素濃度は各器官とも高く、主に水溶性窒素の形態で、中でも、茎中にアミノ酸態、硝酸態窒素、葉柄中に硝酸態窒素の形態で集積している。また、葉身中の全糖濃度も高く推移し、とくに、第3本葉展開期頃(播種後50日前後、7月中旬)に最も高い値を示して、開花前の時期は光合成産物としての炭水化物が体構

成に十分用いられず、葉身中に主に非還元糖の形で集積しており、開花以後の急激な生長への準備期と推察された。根粒の着生は発芽後1週間ほどで観察されるが、開花始までの着生量は少なく、窒素固定能も低く推移する。固定窒素は主にアラントインの形態で移動、集積するがその量は少ない。

開花始以後生育は急激に進み、全生育期間を通して開花始より莢実肥大始(播種後80日前後、8月中旬)までの期間は生長速度が最も高く、栄養生長が旺盛である。一方、開花始以後は下位節より上位節に生長に伴って順次開花が行われ、同時に、莢形成、伸長、子実肥大が下位より上位に向かって進むいわゆる生殖生長も進行し、栄養生長と生殖生長とが重複する時期でもある。このため、窒素の集積も急激に進み、1日当りの窒素増加率も莢実肥大始頃に最大値を示す。この時期に根粒の窒素固定も高まり、窒素集積増加率と同様に莢実肥大始の時期に固定能も最大となり、アラントインの集積も進むが全窒素中に占める割合は低い。他方、茎、葉柄中に集積していたアミノ酸態、硝酸態窒素は少量の窒素施肥条件では栄養生長に消費され、急激に減少する。しかしながら、窒素多肥条件ではアミノ酸態、硝酸態窒素集積は維持され、とくに、葉柄中の硝酸態窒素は莢実肥大始の時期においても1%前後の高濃度で集積している。また、開花始以後の炭水化物の集積部位は葉柄に移り、葉柄中の全糖濃度が急上昇して莢実肥大始では15%以上にも達する。したがって、生長重複期前半の栄養生長が最も旺盛な時期における葉柄の養分集積器官としての意義は高いと考えられる。

莢実肥大始以後開花、莢伸長は引続き進行し、子実肥大も併行して進んで、生殖生長が旺盛になるが、栄養生長も最大生育期(播種後90日前後、8月下旬)まで持続する。窒素の集積割合

も莢実部で次第に高まり、炭水化物集積部位も茎に移って、順次子実へ転流蓄積して行く。したがって、この時期は養分の摂取競合が最も激しく、いわゆるsourceが制限因子となる時期で、窒素固定能も急激に低下し、落花、落莢現象が激しくなってくる。佐藤^{121, 123)}は開花始より22日目以降に開花したものの結莢率が急激に低下することを報告しており、養分摂取競合の激しさを裏付けている。

最大生育期以後は茎葉中の窒素が莢実部へ転流し、自らは落葉してその重量を減じて行く。炭水化物の集積は莢殻、子実と移行し、子実中ででんぷんとして蓄積され、成熟に至る。小豆子実の発育について、反田¹⁸⁾は開花後完熟期まで35～40日を要すとしており、佐藤¹²¹⁾は開花始より15日位までに開花結莢したものでは開花後25～30日で収量可能な粒大になり、開花始より20日目前後の開花では30～35日を必要とすることを報告している。

このように、小豆の生育期間を通して、第3本葉展開期、開花始、莢実肥大始、最大生育期の4時期が栄養生理上の重要な時期と推察され、各時期をもって生育期間を5生育期に分けるのが妥当と考えられる。

以上のように、小豆生育上重要とされる生育期を設定したが、次に、各生育期の子実生産に係る意義について考察しなければならない。そこで、各生育期の生育、養分集積状況の相互関係および施肥に対する反応性、さらに、子実収量との関係について検討した。

まず、各生育期の生育状況(CGR)と子実収量との相関を求めた結果、各生育期とも有意の高い相関関係が認められ、その中で、開花前の時期の相関係数が最も高い値を示した。このことは、開花始までの初期生育が緩慢とはいえ子実形成に密接に関係していることを示しており、この初期生育の増進が収量向上のための重要な要因になっていると判断された。一般に、豆類の初期生育は他の畑作物と比較して劣るとされているが、豆類の中で最も緩慢な生育を示

す小豆においては収量形成に係る初期生育の重要性が一層大きいと推察され、初期生育の向上が増収のための第一の必要条件であろう。

初期生育に対する窒素、磷酸施肥の効果を比較すると磷酸の効果が高く現われ、磷酸増肥によって開花前の初期生育量は増大した。磷酸が作物の生育初期に多く吸収され、初期生長を高めることはBlack³⁾も述べている。吸収された磷酸の大部分は無機態磷酸として存在し^{3, 105)}、作物体内における代謝生理の活性化、組織の発達促進に作用するものであろう。この初期生育の増大は必然的にその後の生育増進の足掛りとなるものであり、分枝の発達をも促がし、着莢位置の増大をもたらす。同時に、磷酸増肥によって登熟が早まり、生育日数の短縮する現象がみられた。Black³⁾も磷酸供給を十分にした場合、生長が促進し、早く成熟期に入ることが報告している。

次に、開花始以後、莢実肥大始を経て最大生育期までの各生育期の生育状況も子実収量と密接な関係にあるが、この時期の生育増進に対しては窒素施肥の効果が高く現われた。前述したように、開花始以後は栄養生長と生殖生長の重複期間であり、生長速度も急激で、当然窒素の要求程度が高い。

豆類の収量が低い原因の1つに落花、落莢現象のあることは知られており^{31, 53, 54, 57, 119, 145)}、小豆における落花落莢率は55%前後との報告¹²³⁾がある。この落花、落莢の原因として、落花については温度⁵⁴⁾、土壌水分^{57, 60)}などの環境要因も大きく影響していることが報告されているが、落莢は主に栄養生長と生殖生長との重複に伴う養分の不均衡、光合成産物の莢への供給低下のため莢の発育が停止することによって生じる^{31, 43, 66)}とされている。収量向上のためには生育増進による莢数の絶対数を増加させると共に、結莢率の向上も重要であり、このためには開花以降の養分、とくに窒素の十分な供給が必要となる^{22, 25, 27)}。

開花始以後の窒素供給に関して、大豆では施

肥窒素で供給することは過度の栄養生長を招き、生殖生長部への光合成産物の供給が円滑に行かないため、かえって落花、落莢を促進するので、固定窒素で供給するのが有利であるとの報告^{43, 77)}がある。しかしながら、子実生産に対して施肥窒素（化合窒素）と固定窒素に差がないとの報告^{13, 148, 150)}があり、さらに、小豆においては開花以後の生長が大豆に比べて一層急激であり、この間の生育量を確保することが収量を高める上での必要条件である。また、小豆の窒素固定能は大豆より低く、かつ、莢実肥大始の時期を頂点に以後は固定能が低下してしまう。しかも、固定窒素の供給は環境要因に支配される面が多く、供給量が不安定であり、供給窒素の絶対量を固定窒素で確保することは困難と考えられる。したがって、開花以降の窒素供給を施肥窒素で行うことも増収の一つの方法である

う。

本研究で、窒素増肥によって開花以後の生育は増大し、着莢数の増加、粒肥大の現象も観察された。窒素が開花以後の生育増大に主体的に作用し、中でも、葉柄中に集積した硝酸態窒素が生育増進に密接に関係していることを認めた。

これらのことから、小豆増収の必要条件である最大生育期までの生育増進、確保を賄うためには、開花前の初期生育に対しては主として磷酸を、開花以後の生育に対しては窒素をそれぞれ十分に供給するのが有効であると結論される。

なお、開花前の葉柄中の硝酸態窒素などの窒素集積程度が開花以後の生育に大きく影響していることも認められ、生育初期における窒素供給も重要であると推定した。

以上のことをまとめて模式的に示したのが図41である。

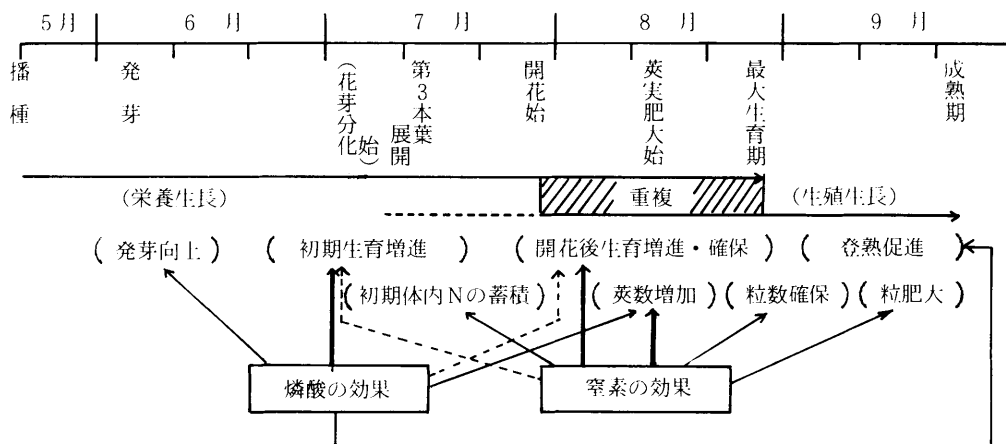


図41 窒素、磷酸の生育・収量に係る模式図

これら窒素、磷酸効果を十分発現させるためその施肥法について検討した。

まず、磷酸施肥については、水溶性磷酸を主体に作条施肥によって根の近くに集中的に施肥するのが効率的であることを認めた。この水溶性磷酸の形態は速効的であるばかりでなく、小豆の生育期間中は土壤中で十分可給態磷酸として持続し、生育後期の磷酸要求も賄うことが

できると判断した。北海道のように寒冷な地帯で、かつ、初期生育の重要性が高い小豆に対しては水溶性磷酸主体の施肥体系が有効であり、また、生育初期の根系発達が不十分な時期の磷酸効率を高めるためには根の近くに施肥するのが有利であろう。

開花以後の窒素供給法として追肥法、葉面追肥法、緩効性窒素の利用の3方法について検討

し、それぞれ有効であることを認めた。すなわち、窒素追肥法としては基肥窒素量を $N\ 3 \sim 4\ kg / 10\ a$ の標準量として、7月中旬の第3本葉展開期頃に追肥することによって、開花以後の窒素集積量、生育量は増大し、増収した。葉面追肥法はより後期の窒素追肥を目的として葉面散布によって供給する方法で、尿素2%液を開花以後に反復して3回以上散布することによって一般の窒素追肥 ($N\ 5\ kg / 10\ a$) より高い収量が得られた。また、緩効性窒素肥料としてはCDUの有効なことを認め、速効性窒素(AN) $3\ kg / 10\ a$ にCDU- $N\ 4\ kg / 10\ a$ 程度上積みして施用するのが効果的であった。

これら3方法はいずれも基肥窒素、とくにア

ンモニア態窒素の多量施用によって生じる発芽時の濃度障害を回避して、小豆の要求する多量の窒素を合理的に供給する方法で、前述の磷酸増肥と組合わせることによって一層効果が高まる。さらに、窒素の多量施用は一般に根粒着生を阻害するのであるが、追肥法は基肥窒素量を必要最小限の少量とするため生育前半における根粒着生阻害はほとんどなく、追肥以後に影響を与えるが、無追肥に比べて10~50%程度の減少にとどまっている。緩効性窒素も同様に根粒着生に与える影響は小さい。この点から、これら3方法は施肥、固定窒素併用型の窒素供給法といえよう。

第7章 摘

要

北海道における小豆は畑作経営上重要な基幹作物となっているが、その収量性は低く、安定性に欠けている。この原因として、気象要因とくに気温に対する反応性の高いことが挙げられるが、栽培技術、中でも肥培管理技術の確立していないことも大きな要因になっていると考えられる。

本研究は小豆の収量向上を目的として、小豆の栄養生理的特性および施肥反応性を検討し、効率的な施肥法を検索したものである。

一連の実験の結果は以下のように要約される。

1. 窒素、炭水化物の集積経過と生育期の設定

1) 小豆の生育日数は120日前後で、そのほぼ中間に当る開花始（播種後60日前後）までの前半の生育は極めて緩慢である。開花始以後に急激に生長し、かつ、栄養生長と生殖生長とが長期（約30日）にわたって重複して進行する。

2) 窒素集積量も開花始以後に急増し、1日当りの窒素集積増加率は莢実肥大始（播種後80日前後）頃に最高となり、この時を境に窒素の集積部位が茎葉部から次第に莢実部に移行する。

3) 炭水化物の集積部位は生育の進行と共に変わり、生育初期の段階では葉身に、開花以後栄養生長が最も激しい時期では葉柄に集積する。莢実肥大始から栄養生長の終止期と考えられる最大生育期（播種後90日前後）にかけては茎に主に集積し、その後成熟期にかけては莢殻、子実と集積部位が順次変って行く。

4) 炭水化物の集積傾向と生育との関係より栄養生理上、第3本葉展開期頃（播種後50日前後）開花始、莢実肥大始、最大生育期が重要な時期であり、各時期によって生育期間を5生育期（Growth Stage）に分けることができると推定した。

2. 小豆根粒の生態と施肥に伴う窒素集積の変化

1) 小豆の根粒着生量（重量）は最大生育期頃まで増大し、以後は漸減したが、窒素固定能（個体当りアセチレン還元量）は莢実肥大始の時期に最大となって以後は急激に低下した。

2) 固定窒素の主要な移動形態はアラントイン（アラントイン酸を含む）であり、その濃度は生育初期の茎において比較的高く、また、莢実肥大始の時期にも茎中で一時高まる。しかし、アラントインの全窒素中に占める割合はアミノ酸態窒素、硝酸態窒素より低く、集積量としては少ない。

3) これらのことから、小豆に対する窒素供給を固定窒素のみに依存することは困難であり、とくに、開花始以後に急激に高まる窒素要求を賄うためには固定窒素以外の窒素給源で供給しなければならないと判断される。

4) 窒素多肥処理での窒素移動形態は主にアミノ酸（アマイドを含む）、硝酸で、アミノ酸の内のアスパラギンが60%以上を占めた。

5) 窒素増肥によって根粒着生量は減少するが、開花始における茎中のアラントイン濃度はむしろ高まる傾向がみられ、開花前の生育初期では窒素の多量供給によって化合態窒素でもアラントインとして集積することが示された。

6) 窒素施用量増加に伴って各器官の窒素集積量は増大し、中でも葉柄中の硝酸態窒素濃度が莢実肥大始の時期でも1%前後（対全窒素比30%以上）の高濃度を示し、注目された。

3. 施肥反応性と生育、収量、養分集積量の相互関係

1) 最大生育期までの各生育期におけるCGR（個体群生長率）と子実収量との間にそれぞれ有意の相関関係が得られ、その相関係数は開花前の生育初期が最も高かった。したがって、

収量向上のためには緩慢な経過をとる初期生育の増進がまず重要であり、さらに、開花以後の栄養、生殖生長重複期における生育量確保も必要である。

2) 窒素、リン酸の施用量を変えて生育反応をみた結果、開花前の初期生育増進効果はリン酸の方が窒素より高く現われ、開花始以後の生育に対しては窒素増肥の効果が高かった。

3) 土壌中の可給態窒素(熱水抽出-N)およびリン酸($\text{Truog-P}_2\text{O}_5$)水準とCGRとの関係より、初期の生育量は $\text{Truog-P}_2\text{O}_5$ 水準と、開花以後の生育量は熱水抽出-N水準とそれぞれ有意の相関関係がみられた。

4) 窒素、リン酸施肥に伴う小豆体内での窒素、リン酸集積状況についてみると、窒素は開花始、莢実肥大始の時期に反応が高く現われ、リン酸は生育初期で最も高い反応を示した。

5) 各時期における器官別の窒素、リン酸集積程度とその時期以後のCGRとの関係から、窒素では莢実肥大始までの葉柄中の硝酸態窒素濃度が高い相関関係を示し、リン酸では生育初期についてのみ葉身、茎のリン酸濃度と生育との間に有意の関係が得られた。

6) これらのことから、小豆増収の必要条件である最大生育期までの生育増進、確保を賄うために、開花前の初期生育に対しては主としてリン酸を、開花始以後の生育に対しては窒素を十分に供給するのが有効であると結論される。

7) なお、窒素集積量と生育との関係から、窒素増肥による初期生育増進効果は低いが、体内に集積した量が開花以後の生育量と密接に関係していることが認められ、生育初期における窒素集積を高めておくことも必要である。

8) 窒素、リン酸集積量と子実収量との間には各時期とも有意の関係が得られ、子実形成に対しては全生育期間を通じた窒素、リン酸の供給確保が必要である。

4. リン酸の施肥形態と施用法

1) 初期生育増進効果の最も高いリン酸形態は

水溶性リン酸(WP)であり、その多量施用($\text{P}_2\text{O}_5 30\text{kg} / 10\text{a}$ 以上)によって初期生育のみならず開花以後の生育も増大し、増収した。

2) 土壌中に施用した場合、水溶性リン酸が可給態として存在する量は生育期間中を通して、水溶性：く溶性1：1(WP / CP)あるいはく溶性(CP)の形態より常に高く維持された。

3) リン酸の施用法としては作条施肥によって根の近くに集中的に施用するのが全層施肥よりも少量で済み、効果的であった。

4) リン酸の増肥効果は気温の低い条件で高く現われ、かつ、冷涼な地域では作条施肥のみならず全層施肥によって根圏全域のリン酸水準を高めることも大切である。

4) リン酸増肥は根粒着生を増進させ、窒素固定能を高めるが、その土壌リン酸水準としては、 $\text{Truog-P}_2\text{O}_5$ で $10\text{mg} / 100\text{g}$ 以上あれば十分であると推定した。

5. 窒素供給法の検討

1) 圃場条件で作条施肥による窒素用量試験を行った結果、 $\text{N } 5\text{kg} / 10\text{a}$ 以上では発芽率が低下し、初期生育も抑制され、後期に回復して生育量が増したが収量増加には結びつかなかった。したがって、小豆の基肥窒素量は $\text{N } 3 \sim 4\text{kg} / 10\text{a}$ にとどめるべきである。

2) 窒素追肥によって開花以後の窒素集積および生育は増大し、増収した。遅い時期の追肥ほど子実重歩合(Harvest Index)を高める傾向がみられたが、子実収量では7月中旬(第3本葉展開期)追肥処理がやや高く、追肥時期としては7月中旬が妥当と判断した。追肥効果を助長することからリン酸増肥を併用すべきである。

3) 葉面散布による窒素追肥法を検討した結果、尿素2%液 $100\text{ℓ} / 10\text{a}$ を開花始以後3回(1回につき反復、計6回)以上散布することによって窒素集積量は増し、子実重歩合も高まって増収した。散布窒素資材は尿素が最もよく、散布液濃度は2%以下とする。

4) 緩効性窒素肥料の利用も有効な窒素供給

法であり、 $CDU-N\ 4\text{ kg}/10\text{ a}$ を速効性窒素 することによって生育、収量とも増大した。
($A-N\ 3\text{ kg}/10\text{ a}$ に上積みして基肥に施用

引用文献

- 1) 阿部吉克・大沼 彪：大豆に対する窒素追肥の効果について，東北農業研究，29，129～130（1981）
- 2) 赤塚 恵・坂柳迪夫：畑土壌における窒素供給力の検定方法に関する2，3の考察，北海道農試彙報，83，64～70（1964）
- 3) Black, C. A. : Soil-Plant Relationships. John Wiley & Sons, Inc., 1～332（1957）
- 4) ブイ・チ・トルン・吉田重方：リョクトウの生育・収量および共生窒素固定におよぼす厩肥の影響，熱帯農業，27，259～264（1983）
- 5) Cataldo, D. A., Schrader, L. E. and Young, V. L. : Analysis by Digestion and Colorimetric Assay of Total Nitrogen in Plant Tissues High in Nitrate. Crop Sci., 14, 854～856（1974）
- 6) Ciha, A. J. and Brun, W. A. : Effect of Pod Removal on Nonstructural Carbohydrate Concentration in Soybean Tissue. Crop Sci., 18, 773～776（1978）
- 7) Dunphy, E. J. and Hanway, J. J. : Water-soluble Carbohydrate Accumulation in Soybean Plants. Agron. J., 68, 697～700（1976）
- 8) Egli, D. B., Leggett, J. E. and Cheniae, A. : Carbohydrate Levels in Soybean Leaves During Reproductive Growth. Crop Sci., 20, 468～473（1980）
- 9) Engelsted, O. P. and Moreno, E. C. : Effect of P Concentration and Distribution on P Uptake and Root Growth of Corn. Soil Sci., 99, 227～233（1965）
- 10) 藤原貞夫：小豆，北海道農試彙報，43，1～50（1927）
- 11) Fujihara, S., Yamamoto, K. and Yamaguchi, M. : A Possible Role of Allantoin and the Influence of Nodulation on its Production in Soybean Plants. Plant Soil, 48, 233～242（1977）
- 12) 藤田 勇・西宗 昭・渡辺公吉：十勝乾性火山灰土壌における主要畑作物に対する緩効性窒素肥料の施用方式に関する研究，第1報，基準窒素施用水準における主要畑作物に対する緩効性窒素肥料の反応，北海道農試研報，120，51～74（1978）
- 13) 藤田耕之輔・田中 明：ダイズにおける窒素の固定，吸収，転流に対する化合窒素の影響，土肥誌，53，30～34（1982）
- 14) 藤田耕之輔・田中 明：ダイズの木部溢泌液の窒素化合物組成に対する化合窒素の影響，土肥誌，53，519～524（1982）
- 15) 深井 強・串崎光男：気象条件との関連において考察した水稻作に対する三要素の意義について，北海道農試彙報，63，37～42（1952）
- 16) 福井重郎・小島睦男：土壌水分が大豆の生育並びに収量に及ぼす影響，第V報，生育時期別土壌水分の過不足に伴う大豆体内の炭水化物及び窒素の消長，日作紀，26，40～42（1957）
- 17) Garcia, L. R. and Hanway, J. J. : Foliar Fertilization of Soybeans During the Seed-filling Period. Agron. J., 68, 653～657（1976）
- 18) 反田嘉伸：小豆子実の発育について，日作紀，26，45～46（1957）
- 19) Hanway, J. J. and Weber, C. R. : N, P and K Percentages in Soybean (Glycine max (L.) Merrill) Plant Parts. Agron. J., 63, 286～290（1971）
- 20) Hardy, R. W. F., Holsten, R. D., Jackson, E. K. and Burns, R. C. : The Acetylene-

- Ethylene Assay for N_2 Fixation: Laboratory and Field Evaluation. *Plant Physiology*, 43, 1185~1207 (1968)
- 21) Harper, J. E. and Cooper, R. L. : Nodulation Response of Soybean (*Glycine max* L. Merr.) to Application Rate and Placement of Combined Nitrogen. *Crop Sci.*, 11, 438~440 (1971)
 - 22) 長谷川 進・野村 琥: 矮性菜豆の子実生産におよぼす窒素の影響, 北海道立農試集報, 40, 30~39 (1978)
 - 23) 長谷川 進・野村 琥: 十勝地方における大豆栽培の土壤肥料学的研究, 第3報, 窒素の追肥時期, 量が窒素栄養及び根粒着生, 生育収量に及ぼす影響, 土肥要旨集, 25(I), 159 (1979)
 - 24) 長谷川 進: 豆類に対する新しい施肥法, 北海道における豆類に関する研究集録, 47~59 (1980)
 - 25) 橋本鋼二・山本 正: 豆類の冷害に関する研究, 第4報, 大豆の生育, 収量に及ぼす生殖生長初中期の低温と窒素質肥料との関係, 日作紀, 42, 475~486 (1973)
 - 26) 橋本鋼二・山本 正: 豆類の冷害に関する研究, 第5報, 大豆の生育, 収量におよぼす生殖生長初中期の低温と磷酸肥料ならびに施肥水準との関係, 日作紀, 43, 40~46 (1974)
 - 27) Hashimoto, K. : The Significance of Nitrogen Nutrition to the Seed Yield and its Relating Characters of Soybeans—With Special Reference to Cool Summer Injury—. *Res. Bull. Hokkaido Natl. Agric. Exp. Stn.*, 114, 1~87 (1976)
 - 28) 早瀬達郎: 緩効性窒素肥料に関する研究(I), 農技研報告, B18, 129~303 (1967)
 - 29) 早瀬達郎: 緩効性窒素肥料に関する研究(II), 農技研報告, B20, 351~389 (1969)
 - 30) Herridge, D. F., Atkins, C. A., Pate, J. S. and Rainbird, R. M. : Allantoin and Allantoic Acid in the Nitrogen Economy of the Cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.). *Plant Physiology*, 62, 495~498 (1978)
 - 31) 平井義孝: 肥料3要素が大豆の落莢に及ぼす影響, 北農, 27(8), 3~5 (1960)
 - 32) 平井義孝: 大豆の無機栄養に関する調査, 第1報, 生育に伴う吸収移動の経過について, 北海道立農試集報 7, 47~57 (1961)
 - 33) 平井義孝: 大豆の無機栄養に関する調査, 第2報, 葉位別葉における窒素, 磷酸, 加里および石灰の行動について, 北海道立農試集報, 8, 24~36 (1961)
 - 34) 平井義孝: 大豆の土壤無機磷の利用からみた磷酸施肥の一考察, 北海道立農試集報 14, 80~89 (1964)
 - 35) 星 忍・石塚潤爾・仁紫宏保: 窒素質肥料の追肥が大豆の生育と子実生産に及ぼす影響, 北海道農試研報, 122, 13~54 (1978)
 - 36) 北海道農務部: 北海道施肥標準 (1983)
 - 37) Howell, R. H. : Physiology of the Soybean. *Advances Agron.*, 12, 265~310 (1960)
 - 38) 市田俊一・蜂ヶ崎君男・相馬駿春: 大豆に対する窒素施肥反応, 東北農業研究, 31, 101~102 (1982)
 - 39) 井上重陽・清水 敦: 小豆の根瘤に関する研究, 日作紀, 19, 290~292 (1951)
 - 40) 石橋博明・猪居 武・潮田常三: CDUの分解について, 土肥誌, 40, 260~264 (1969)
 - 41) 石塚潤爾・沖野房江・星 忍: 大豆の栄養生理学的研究, 第3報, 茎の各種窒素成分含量と栄養生長との関係, 土肥誌, 41, 78~82 (1970)
 - 42) 石塚潤爾: 大豆の窒素栄養に関する研究, 第1報, 体内成分と生育との関係, 北海道農試彙報, 98, 27~33 (1971)
 - 43) 石塚潤爾: 北海道の大豆の生育および子実

- たんばくの生成における可溶性窒素成分の
 栄養生理学的意義，北海道農試研報 101，
 51～121（1972）
- 44) 石塚潤爾：窒素化合物分析法，ウレイド，
 栽培植物分析測定法，250～254，養賢堂，
 （1975）
- 45) 石塚喜明・田中 明・林 満：畑作物に
 対する施肥位置に関する研究，第1報，肥
 料成分の土壤中における移動，土肥誌，33，
 562～566（1962）
- 46) 石塚喜明・林 満・西野紀子：畑作物に
 対する施肥位置に関する研究，第5報，肥
 料の種類，量，施肥位置と作物根系発達の
 相互関係の総括，土肥誌，38，373～378
 （1967）
- 47) 石塚喜明・田中 明：水稻の栄養生理，養
 賢堂（1965）
- 48) 石井英之・三好 洋：千葉県に分布する畑
 土壌の磷酸供給力（第2報），磷酸の大量
 施用と土壤溶液中の磷酸濃度，千葉農試研
 報，7，129～131（1967）
- 49) 岩渕晴郎：菜豆の生育過程における栄養生
 理学的試験，第1報，無機成分の吸収につ
 いて，北海道立農試集報，6，77～92
 （1960）
- 50) 岩渕晴郎：菜豆の窒素施肥法改善に関する
 研究，第1報，菜豆の窒素施肥反応の特異
 性と条施肥法の改善，北海道立農試集報，
 22，61～72（1970）
- 51) 岩渕晴郎・高島 晃：菜豆の窒素施肥法改
 善に関する研究，第2報，窒素全層施肥法
 の効果とその実用性，北海道立農試集報，
 23，31～43（1971）
- 52) 岩渕晴郎・佐藤辰四郎・野村 琥：菜豆の
 窒素施肥法改善に関する研究，第3報，表
 面施肥の効果，北海道立農試集報，26，59
 ～68（1973）
- 53) 岩見直明：菜豆の生態的研究，I，品種間
 の結莢状況と気温との関係，園芸学誌，19
 （1），68～75（1950）
- 54) 岩見直明：菜豆の生態的研究，II，落花に
 ついて，園芸学誌，20（5），53～57
 （1951）
- 55) 鎌田悦男：大豆における根瘤形成に関する
 生理形態的研究，I，窒素供給量と根瘤発
 達について，日作紀，25，145～146
 （1957）
- 56) 菅野行也・山崎慎一：大豆に対する肥料葉
 面散布，農及園，28，1008（1953）
- 57) 加藤一郎：大豆における脱落花器及び不稔
 実粒の組織学的ならびに発生学的研究，東
 海近畿農試研報，11，1～52（1964）
- 58) 加藤忠司・山県真人・塚原貞雄：ダイズに
 よるアンモニア態窒素（ ^{15}N ）および硝酸
 態窒素（ ^{15}N ）の吸収利用，土肥誌，54，25
 ～29（1983）
- 59) 加藤泰正：大豆のチッソ代謝に関する研究，
 I，標識チッソと非標識チッソの体内にお
 ける移行と代謝について，日作紀，42，154
 ～163（1973）
- 60) 河原栄治：小豆，作物体系第4編，1～32，
 養賢堂（1962）
- 61) 菊地晃二：土壤調査分類の立場からみた地
 力対策，北農，43（1），45～62（1975）
- 62) 菊地晃二・関谷長昭・浦谷孝義・及川 博
 稲村裕文・西部 潤：十勝管内における地
 力実態，北農，45（9），9～41（1978）
- 63) 木内知美：根の化学的活性測定法，栽培植
 物分析測定法，528～533，養賢堂（1975）
- 64) 古賀野完爾・仁紫宏保：アンモニア態Nが
 小豆幼植物内窒素成分に及ぼす影響，土肥
 要旨集，19（I），86（1973）
- 65) 小西亀太郎：緑肥と根瘤菌の研究，朝倉書
 店（1947）
- 66) 昆野昭晨：ダイズの子実生産機構の生理学
 的研究，農技研報告，D27，139～295
 （1976）
- 67) 昆野昭晨：これからのダイズ作に関する諸
 問題（1），農及園，54，249～255
 （1979）

- 68) 昆野昭晨：これからのダイズ作に関する諸問題 (2), 農及園, 54, 374 ~ 380 (1979)
- 69) 今 友親・北村 亨・志賀義彦：冷害年における小豆の多収例とその生育解析, 北農 39 (2), 40~42 (1972)
- 70) 熊谷秀行・長谷川 進・沢口正利・野村 琥：豆類増収技術の確立に関する研究, 第3報, 生育時期別根粒活性について, 土肥要旨集, 21 (II), 4 ~ 5 (1975)
- 71) 熊谷秀行・野村 琥・山内正視：豆類増収技術の確立に関する試験, 第3報, 矮性菜豆に対する緩効性窒素入化成肥料の効果について, 北農, 43 (4), 16~39 (1976)
- 72) 熊谷秀行・金野隆光：根粒活性に及ぼす環境要因について, 第1報, 灌水と遮光の影響について, 土肥要旨集, 22 (I), 107 (1976)
- 73) 熊谷秀行・野村 琥：豆類根粒の窒素固定に関する研究, 第1報, 窒素施肥の影響について, 土肥要旨集, 24 (I), 82 (1978)
- 74) 熊谷秀行・長谷川 進・野村 琥：豆類根粒の窒素固定に関する研究, 第3報, 大豆根粒に及ぼすリン酸の影響, 土肥要旨集, 26 (II), 216 (1980)
- 75) 熊谷秀行：大豆施肥における諸問題, 北海道土肥研究通信シンポ誌, 28, 1 ~ 13 (1981)
- 76) 串崎光男・星 忍・伊藤邦男：北海道における主要農作物の肥料要素吸収量に関する試験, 北農, 28 (5), 3 ~ 25 (1961)
- 77) 串崎光男・石塚潤爾・赤松房江：大豆の栄養生理学的研究, 第1報, 根粒着生状況が大豆の生育, 養分吸収に及ぼす影響, 土肥誌, 35, 319 ~ 322 (1964)
- 78) 串崎光男・石塚潤爾・赤松房江：大豆の栄養生理学的研究, 第2報, 根粒の着生が大豆の窒素成分組成に及ぼす影響, 土肥誌 35, 323 ~ 327 (1964)
- 79) 松本哲男・山本幸男・谷田沢道彦：ダイズの窒素栄養における根粒の役割, 第1報, アラントインおよび各種成分含量の時期別推移, 土肥誌, 46, 471 ~ 477 (1975)
- 80) 松本哲男・山本幸男・谷田沢道彦：ダイズの窒素栄養における根粒の役割, 第2報, 溢泌液のアラントイン濃度の変動, 土肥誌, 47, 463 ~ 469 (1976)
- 81) 松代平治：微生物による窒素固定, 北海道農業と土壤肥料, 141 ~ 150, 北農会, (1969)
- 82) 松代平治：豆類の栄養特性と施肥, 農及園, 46, 167 ~ 171 (1971)
- 83) McClure, P. R. and Israel, D. W. : Transport of Nitrogen in the Xylem of Soybean Plants. *Plant Physiol.*, 64, 411~416 (1979)
- 84) 南 松雄・沢口正利・山崎淑子：畑土壤肥沃度の診断に関する研究, 第1報, 土壤磷酸の有効度について, 北海道立農試集報, 19, 80~86 (1969)
- 85) 宮沢数雄・西宗 昭・小梁川忠士・吉岡真一：十勝地方における畑地の地力と豆類の生育について<その1>, 北農, 36 (3), 1 ~ 9 (1969)
- 86) Moore, S. and Stein, W. H. : Photometric Ninhydrin Method for Use in the Chromatography of Amino Acids. *J. Biol. Chem.*, 176, 367 ~ 388 (1948)
- 87) 森 哲郎・渡辺公吉・藤田 勇：十勝火山性高丘地土壤における施肥法に関する研究, 第1報, 肥料の発芽に及ぼす影響, 北農, 28 (12), 6 ~ 8 (1961)
- 88) 森 哲郎・渡辺公吉・藤田 勇：北海道の畑地土壤における施肥養分の動態と施肥技術の改善に関する研究, 第1報, 十勝火山性高丘地土壤における各種窒素肥料の形態的消長, 北海道農試彙報, 86, 18~39 (1965)
- 89) Mothes, K. : The Metabolism of Urea and Ureides. *Can. J. Botany*, 39, 1785~

- 1807 (1961)
- 90) 村井信仁・道場三喜雄・高橋義明：てん菜の機械化施肥法に関する考察，てん菜研会報 22, 8～12 (1980)
- 91) 村田吉平・佐藤久泰・成河智明：小豆新品種「ハヤテショウズ」の育成について，北海道立農試集報，38, 73～82 (1977)
- 92) 村田吉平：北海道のアズキとインゲンマメ (1)品種について，雑豆情報，11, 42～45 (1981)
- 93) 村山 登・吉野 実・大島正男・塚原貞男・川原崎裕司：水稻の生育に伴う炭水化物の集積過程に関する研究，農技研報告，B 4 123～166 (1955)
- 94) 村山 登・川原崎裕司：大豆の磷酸栄養に関する研究 (第1報)，磷酸の供給時期が生育，収量に及ぼす影響，土肥誌，28(5)，191～193 (1957)
- 95) 村山 登・川原崎裕司・吉野 実：大豆の磷酸栄養に関する研究 (第2報)，磷酸の生産能率について，土肥誌，28(6)，247～249 (1957)
- 96) 永田伸彦：施肥位置がてん菜の生育におよぼす影響，てん菜研会報，13, 94～104 (1971)
- 97) 永田武雄・村松記久夫：洪積酸性土の吸着磷酸の肥効と形態，土肥誌，31, 407～410 (1960)
- 98) 永田武雄・村松記久夫：磷酸の施肥位置に就て，土肥誌，32, 104～106 (1961)
- 99) 中村道徳：生物窒素固定，発酵と工業，34 (7)，500～518 (1976)
- 100) 中村誠助・梅本俊成：馬鈴薯の施肥の位置と増収度，農及園，30, 433～435 (1955)
- 101) 中村輝雄・山添文雄：肥料中の硝酸態窒素定量法に関する研究，農技研報告，B 2, 1～14 (1953)
- 102) 中世古公男・後藤寛治・浅沼興一郎：大豆，小豆，菜豆の生産生態に関する比較作物学的研究，第1報，疎植条件下における乾物生産過程の差異，日作紀，48, 82～91 (1979)
- 103) 成河智明・三浦豊雄・松川 勲：豆類の耐冷性に関する研究，第1報，低温と遮光に対する反応，北海道立農試集報，22, 10～19 (1970)
- 104) 成河智明・三浦豊雄・松川 勲：豆類の耐冷性に関する研究，第2報，低気温と低温に対する反応，北海道立農試集報，26, 28～35 (1973)
- 105) 野本亀雄・石川昌男：畑作物の栄養に関する研究，第1報，大豆の磷酸栄養特に磷酸の施用量が大豆の生育及び体内に於ける磷酸の形態に及ぼす影響に就いて，東北農試研報，10, 185～197 (1956)
- 106) 野村信史・浅沼興一郎：生育時期別の低温処理が小豆品種の開花順序と開花速度に及ぼす影響，北海道立農試集報，20, 73～79 (1970)
- 107) 野村信史：小豆の器官別生長について，育種・作物北海道談話会報，13, 32 (1973)
- 108) 野村信史：小豆に対する低温の影響について，Ⅱ，開花前後の低温と子実の肥大との関係，北海道立農試集報，30, 9～15 (1974)
- 109) 農林水産省農蚕園芸局監修：日本の耕地土壌の実態と対策，土壤保全調査事業全国協議会 (1979)
- 110) 大泉久一・西入恵二・桂 勇：大豆の葉の機能に関する研究，1. 各葉における乾物重，窒素，磷酸，加里ならびに炭水化物含量の消長について，日作紀，30, 253～256 (1962)
- 111) 尾崎 薫・桜庭慎悟：施肥位置がてん菜の生育，収量におよぼす影響，北海道農試彙報，82, 8～15 (1963)
- 112) 尾和尚人・三井進午：CDU，IB，M2Uの加水分解について，緩効性窒素肥料に関する研究 (第1報)，土肥誌，45, 53～58 (1974)

- 113)尾和尚人・鈴木 弘・三井進午：土壤中における CDU の無機化過程について，緩効性窒素肥料に関する研究（第2報），土肥誌，46，1～8（1975）
- 114)Oyama, T. and Kumazawa, K. : Incorporation of ^{15}N into Various Nitrogenous Compounds in Intact Soybean Nodules after Exposure to $^{15}\text{N}_2$ Gas. Soil Sci. Plant Nutr., 24, 525～533 (1978)
- 115)Oyama, T. and Kumazawa, K. : Assimilation and Transport of Nitrogenous Compounds Originated from $^{15}\text{N}_2$ Fixation and $^{15}\text{NO}_3$ Absorption. Soil Sci. Plant Nutr., 25, 9～19 (1979)
- 116)Pal, U.R. and Saxena, M.C. : Relationship Between Nitrogen Analysis of Soybean Tissues and Soybean Yields. Agron. J., 68, 927～932 (1976)
- 117)Russell, E. J. and Russell, E. W. : Soil Condition and Plant Growth. 120～121, Longmans (1961)
- 118)齊藤正隆：雑豆栽培の技術と問題点，農及園，58，125～132（1983）
- 119)三分一 敬：大豆の開花および莢様式についての品種間差異，北農，31（5），1～5（1964）
- 120)三分一 敬：大豆の耐冷性に関する育種学的研究，北海道立農試報告，28，1～57（1979）
- 121)佐藤久泰：小豆の莢伸長ならびに子実の肥大経過について，北農，37（10），19～27（1970）
- 122)佐藤久泰：小豆品種の栽培環境に対する反応，北海道立農試集報，29，61～71（1974）
- 123)佐藤久泰：小豆の開花，登熟について一気温と栽植密度の影響一，北海道立農試集報41，10～20（1979）
- 124)佐藤辰一郎・野村 琥：豆類増収技術の確立に関する試験，第2報，十勝地方火山性土壤における小豆の施肥反応について，北農，42（11），1～10（1975）
- 125)沢口正利・南 松雄：畑土壤肥沃度の診断に関する研究，第3報，窒素肥沃度の判定について，北海道立農試集報，22，48～60（1970）
- 126)沢口正利：馬鈴薯に対する硝酸態窒素の施用について，北農，40（5），20～29（1973）
- 127)沢口正利：小豆の収量水準向上に関する土壤肥科学的考察，第3報，窒素，燐酸の施肥処理が生育，収量に及ぼす影響，土肥要旨集，24（Ⅱ），13（1978）
- 128)沢口正利・野村 琥：豆類増収技術の確立に関する試験，第4報，各種土壤処理が小豆の根粒着生および生育，収量におよぼす影響，北農，45（11），1～12（1978）
- 129)沢口正利・長谷川 進・横井義雄・熊谷秀行・及川 博・稲村裕文：十勝畑作地帯における施肥の実態，北農，46（5），24～54（1979）
- 130)沢口正利：小豆の収量水準向上に関する土壤肥科学的考察，第4報，施肥処理に伴う体内養分動態と生育，収量との相互関係，土肥要旨集，25（Ⅰ），80（1979）
- 131)沢口正利・野村 琥：小豆品種の生育特性と窒素吸収の比較，北海道立農試集報，43，1～11（1980）
- 132)沢口正利・野村 琥：小豆の収量水準向上に関する土壤肥科学的考察，第6報，現地多収農家圃の土壤養分状況と生育，養分吸収経過，土肥要旨集，26（Ⅰ），121（1980）
- 133)沢口正利・野村 琥：小豆における炭水化物の消長と生育との関連，北海道立農試集報，45，59～69（1981）
- 134)沢口正利・大崎玄佐雄：小豆の収量水準向上に関する土壤肥科学的考察，第9報，発芽に及ぼす施肥窒素の影響，土肥要旨集，28（Ⅱ），213（1982）
- 135)沢口正利・大崎玄佐雄：小豆の収量水準向上に関する土壤肥科学的考察，第11報，後

- 期窒素供給法の検討，とくに，葉面追肥について，土肥要旨集，29(Ⅱ)，227(1983)
- 136) 沢口正利・大崎玄佐雄：小豆の収量水準向上に関する土壤肥料学的考察，第12報，初期生育に対する磷酸効果，土肥要旨集，29(Ⅰ)，128(1983)
- 137) 沢口正利：北海道におけるアズキとインゲンマメ，(6) 豆類栽培における土壤肥料の役割，雑豆情報，16，30～34(1983)
- 138) 沢口正利：小豆の収量水準向上に関する土壤肥料学的考察，第13報，磷酸施肥形態の生育，収量に及ぼす影響，土肥要旨集，30(Ⅰ)，144(1984)
- 139) 白沢義信：荳類の開花結実に関する研究，Ⅵ，磷酸の時期的欠除による大豆の生育，収量と体内成分の推移について，日作紀，27，379～380(1959)
- 140) 鈴木達彦・藤沼善亮・塚田豊昭：異なる位置に施した肥料の小麦に対する効果，火山灰畑における施肥技術の解析(第1報)，土肥誌，37，218～222(1966)
- 141) 鈴木達彦・藤沼善亮：土壌の種類と施肥位置の関係，火山灰畑における施肥技術の解析(第2報)，土肥誌，37，259～262(1966)
- 142) 鈴木達彦・藤沼善亮：異なる位置に施した肥料の効果と畑の肥沃度との関係，火山灰畑における施肥技術の解析(第3報)，土肥誌，37，511～515(1966)
- 143) Streeter, J. G. : Allantoin and Allantoic Acid in Tissues and Stem Exudate from Field-grown Soybean Plants, Plant Physiol., 63, 478～480(1979)
- 144) 但野利秋・田中 明：アンモニア態および硝酸態窒素適応性の作物種間差(第1報)，生育初期におけるアンモニア態および硝酸態窒素選択吸収能と生育反応—比較植物栄養に関する研究—，土肥誌，47，321～328(1976)
- 145) 高橋直秀：小豆の開花結実に関する生態学的研究，日作紀，26，43～44(1957)
- 146) 高橋達児・山本 毅：改良資材施用跡地におけるとうもろこしの生育—火山灰土壌の蓄積磷酸の効果について—，東北農試研報，37，139～156(1969)
- 147) 田中 明・藤田耕之輔・菊地清子：菜豆の栄養生理学的研究(第2報)，矮性種および半蔓性種の生育経過，土肥誌，47，499～505(1976)
- 148) 田中 明・藤山英保・森谷和仁・Oka, E. I. : 大豆および菜豆の窒素施肥反応，土肥誌，49，406～411(1978)
- 149) 田中 明・藤田耕之輔・田中裕子：大豆の窒素固定，化合窒素吸収に対する遮光の影響，土肥誌，51，281～284(1980)
- 150) 田中 明・斉藤 豊：根箱を用いたダイズに対する窒素肥料施肥位置の研究，土肥誌，52，469～474(1981)
- 151) 戸刈義次・加藤泰正・江幡守衛：大豆の増収機構に関する研究，Ⅰ，大豆の生育に伴う植物体各部の成分の消長，日作紀，24，103～107(1955)
- 152) 戸刈義次・菅 六郎：食用作物，371～381 養賢堂(1957)
- 153) Truog, E. : The Determination of the Readily Available Phosphorous of Soils, J. Amer. Soc. Agron., 22, 874～882(1930)
- 154) 都留信也：生物的窒素固定の有効化と土壤微生物学，農及園，54，139～142(1979)
- 155) 堤 忠一：窒素化合物分析法，硝酸，アンモニウム態窒素，栽培植物分析測定法，231～239，養賢堂(1975)
- 156) 潮田常三：肥料の葉面吸収，農及園，27，861～866(1952)
- 157) Vasilas, B. L., Legg, J. O. and Wolf, D. C. : Foliar Fertilization of Soybean : Absorption and Translocation of ¹⁵N-Labeled Urea, Agron. J., 72, 271～275(1980)

- 158) 渡辺源六・高橋昌明：転作畑における大豆の施肥法—窒素の追肥による増収効果について—, 東北農業研究, 29, 125～126 (1981)
- 159) 渡辺 巖・中野 寛・田淵公清：大豆の窒素追肥技術, 第1報, 登熟初期の追肥が収量, 収量構成要素および子実の蛋白含有率におよぼす影響, 日作紀, 52, 291～298 (1983)
- 160) 渡辺 泰・沢田泰男・広川文彦：栽培年数の異なる牧草跡地の小豆の生育収量, 北海道農試彙報, 95, 65～74 (1969)
- 161) Welch, L. F., Boone, L. V., Chambliss, C. G., Christiansen, A. T., Mulvaney, D. L., Oldham, M. G. and Pendleton, J. W. : Soybean Yields with Direct and Residual Nitrogen Fertilization, Agron. J., 65, 547～550 (1973)
- 162) Westermann, D. T., Kleinkopf, G. E., Porter, L. K. and Leggett, G. E. : Nitrogen Sources for Bean Seed Production, Agron. J., 73, 660～664 (1981)
- 163) 山口紀子・志賀一一・三宅正紀：琴似における水稲三要素試験41年間のまとめ, 北農, 38 (7), 1～14 (1971)
- 164) 山川 勉：北海道網走地方における小豆の冷害と安定多収要因, 農及園, 44, 1393～1398 (1969)
- 165) 山本 毅・高橋達児：改良資材による畑土壌の肥沃化, 第2報, 改良資材の施用が土壌および作物の要素吸収におよぼす影響, 東北農試研報, 35, 19～36 (1967)
- 166) 山本 毅・宮里 愿：畑土壌の生産力増強に関する研究, 岩手火山灰土壌における磷酸質資材多施用の効果, 東北農試研報, 42, 53～92 (1971)
- 167) 山内正視・松代平治：大豆の根瘤菌を接種して栽培した場合窒素施与の必要性, 北農, 21 (4), 6～10 (1954)
- 168) 山内益夫：小豆の無機栄養に関する調査, 第1報, 窒素, 磷酸, 加里, 石灰の吸収について, 北海道立農試集報, 13, 91～98 (1964)
- 169) 山内益夫：小豆の無機栄養に関する調査, 第2報, 主茎各葉位別葉の生育調査と窒素, 磷酸, 加里の行動について, 北海道立農試集報, 14, 68～79 (1964)
- 170) 山崎 伝：堆肥の全窒素定量法, 特に硝酸態窒素を含む場合の定量法について, 農事試彙報, 4 (2), 105～113 (1950)
- 171) 安原 稔・猪居 武：土壌中におけるC D Uの分解と無機化について (その1), 土肥誌, 41, 83～88 (1970)
- 172) 谷田沢道彦・並木満夫：植物の葉面から尿素が吸収されることの直接的証明—重窒素にとむ尿素的合成とその利用, 土肥誌, 26, 219～222 (1955)
- 173) 吉田重方・谷田沢道彦：培地中化合態窒素の形態がダイズの根粒形成におよぼす影響についての一考察, 土肥誌, 38, 21～24 (1967)
- 174) 吉田重方：ダイズの窒素栄養におよぼす堆肥施用の影響, 日作紀, 48, 17～24 (1979)
- 175) 吉野 実：炭水化物の分別定量法, 栽培植物分析測定法, 328～335, 養賢堂 (1975)
- 176) 吉岡慎一・小梁川忠士・沢田泰男：畑地の地力と小豆の生育について, その2, 北農, 36 (4), 1～10 (1969)
- 177) Young, E. G. and Conway, C. F. : On the Estimation of Allantoin by the Rimini-Shryver Reaction, J. Biol. Chem., 142, 839～853 (1942)

Studies on Nutritional and Physiological Characteristics of and Methods of Fertilizer Application for Adzuki-beans in Hokkaido

by

Masatoshi SAWAGUCHI

Summary

Adzuki-bean plants are one of the most important field crops in Hokkaido, and Hokkaido is a major production area for adzuki-bean plants in Japan. However, the yield is rather low and unstable, varying considerably from year to year. It is considered that this is partly due to climate, as the growth of adzuki-beans are strongly affected by temperature, and partly due to inadequate knowledge of the optimum cultivation methods, especially in fertilizer application.

Up to the present, fertilized practices have been investigated to improve soil fertility, while investigations of the nutritional and physiological characteristics and methods of fertilizer application have been lacking. On the other hand, there is a tendency towards heavy application of fertilizer, and inefficient fertilizer applications are common in the cultivation.

This research attempts to determine effective methods of fertilizer application to improve the yield of adzuki-beans, by observing the nutritional and physiological characteristics of adzuki-bean plants and their response to fertilizer application. The results of the experiments may be summarized as follows:

1. Accumulation of Nitrogen and Carbohydrate and Determination of Growth Stage

1) The growth period of adzuki-beans is about 120 days and until the beginning of flowering at the middle of the growth period, growth is rather slow and becomes rapid only shortly after the beginning of flowering. Growth in the reproductive phase overlaps vegetative growth for a long period (about 30 days), up to the time of maximum growth when the weight of the vegetative part reaches its maximum.

2) Nitrogen accumulation also increases rapidly after the beginning of flowering. The increase in daily nitrogen accumulation is highest in the middle of August. This indicates the importance of the nitrogen supply in the last half of the growth period.

3) Carbohydrate is accumulated in various organs of the plants during the growth: in the early stage it is accumulated in the leaves; after the beginning of flowering, when vegetative growth is the most remarkable, it is in the petioles; between the beginning of pod-filling and the time of maximum growth it is in the stems; and later, until maturity, in pods and seeds.

4) From the relationship between the changes in carbohydrate and growth, the time when the third trifoliate leaf is completely unrolled (mid July), the beginning of flowering (late July), the beginning of pod-filling (mid August), and the time of maximum

growth (late August) are considered critical periods in the growth. Therefore, the growth season can be divided into five stages, based on these critical periods.

2. Characteristics of Root Nodules of Adzuki-bean Plants and the Effects of Nitrogen Fertilizer Application

1) The weight of root nodules increased until the time of maximum growth and later there was a gradual decrease. Nitrogen fixation (acetylene reduction per plant) reached a maximum in mid August at the beginning of pod-filling, and later there was a rapid decrease. From this it is inferred that nitrogen supplied exclusively by nitrogen fixation is limited.

2) Root nodule weights decreased with increases in nitrogen fertilizer application.

3) Allantoin-N (allantoic acid-N included) in the xylem sap accounted for more than 80% of total-N in a plot without nitrogen fertilizer. This shows that allantoin is the principal form of fixed nitrogen for transport in adzuki-bean plants.

4) With nitrogen fertilization, the amino acids, amides, and $\text{NO}_3\text{-N}$ each amounted to more than 30% of total-N in the xylem sap, and the percentage of asparagine in the amino acid and amide fraction was highest (more than 60%).

5) In plots with heavy applications of nitrogen fertilizer, the concentration of $\text{NO}_3\text{-N}$ in the petioles were maintained at a high level, about 1 % (more than 30% of total-N), until the beginning of pod-filling. Therefore $\text{NO}_3\text{-N}$ in the petioles was estimated to be related with growth.

3. Response to Fertilizer Application and Correlations between Growth, Yield, and Nutrient Accumulation

1) CGR in every growth stages and seed yields were correlated, and the correlation coefficient was highest in the early stage of growth, before flowering. This indicates that to improve yields it is essential to promote growth in the early stage as well as in the steady growth stage after flowering.

2) Heavy use of phosphate fertilizer was effective for growth promotion in the early stage and nitrogen fertilizer application for the growth after flowering.

3) From the relationship between the level of available phosphate and nitrogen in the soil and the growth in each growth stage, it was found that there were correlations between $\text{Truog} - \text{P}_2\text{O}_5$ and growth in the early stage and between hot-water-soluble nitrogen and growth after flowering.

4) At each stage there was a correlation between the amounts of nitrogen and phosphate accumulated in the plants and the CGR. Water-soluble nitrogen in the plants appears to affect the growth considerably. From the relationship between growth and the concentration of nitrogen and phosphate in each part of the plants, it was found that phosphate was closely correlated with the growth before flowering and nitrogen with the growth after flowering.

5) It was found that the amounts of nitrogen and phosphate accumulating at each growth stage was closely correlated with the seed production.

6) There were close correlations between the amounts of hot-water-soluble nitrogen in the soil and the yield. It is presumed that to achieve increases in yield, it is necessary to maintain a hot-water-soluble nitrogen density of over 10mg/100g soil even after flowering.

7) From these findings it follows that fertilizer reseach must focus on the effects of phosphate fertilizer application in the early stage of growth and on nitrogen fertilizer after flowering.

4. Effects of Phosphate Fertilizer and Application Methods

1) The effects of various phosphate fertilizers on growth in the early stage were examined and comared and it was found that water-soluble phosphate resulted in highest growth promotion and that it also helped root activity.

2) In field experiments, a heavy application of water-soluble phosphate (more than 30 kg of P_2O_5 per 10a) promoted growth and increased yields. This effect was especially remarkable at low temperatures.

3) Among the methods of fertilizer application, row application, chiefly around the roots, was more economical and effective than broadcasting and whole layer application.

4) A heavy application of phosphate fertilizer enhanced root nodules and nitrogen fixation. However, weight increaces of the root nodules decreased when the level of Truog- P_2O_5 was over 10mg/100g soil.

5. Application Methods for Nitrogen Fertilizer

1) In field experiments, it was found that nitrogen row application of 5 kg or more per 10a may possibly decrease the number of stands, because of damage at germination, and result in yield decreases. It is, therefore, advisable to limit the application of nitrogen to around 3 - 4 kg per 10a when applying as a basal row fertilizer.

2) In order to avoid damage at germination and also to supply sufficient nitrogen after the beginning of flowering, three application methods were examined: top-dressing, foliar fertilization, and the use of slow-release nitrogen fertilizer (CDU).

3) When using top-dressing, nitrogen absorption increased and later top-dressings resulted in a higher harvest index. When applied in the middle of July, yields were rather higher with the top-dressing method. It is, therefore, effective to apply 5 - 10kg of nitrogen per 10a in the form of ammonium sulfate in the middle of July.

4) The effect of nitrogen top-dressing is enhanced when used with a heavy basal application of phosphate.

5) Foliar fertilization, which is a method of supplying nitrogen by spraying leaves after the beggining of flowering, was examined and it was found that the nitrogen absorption and harvest index were improved and that yield increased when spraying was repeated more than three times (spraying repeated every other day) .

6) Urea was the most effective for spraying and the concentration of the sprayed urea liquid should be less than 2 %.

7) Use of slow-release nitrogen fertilizer is also effective. Growth and yield were increased by 4 kg of CDU-N plus 3 kg of quick acting nitrogenous fertilizer (A-N) per 10a.