

# 石灰窒素の深層施肥による

## 大豆の安定多収と品質向上の新たな展開

新潟大学 農学部 大山卓爾・高橋能彦・石川伸二

新潟県農業総合研究所 南雲芳文

電気化学工業株式会社 坂下普志・野坂佳史

(独)農業・食品産業技術総合研究機構 中央農業総合研究センター 細川 寿

### 水田転換畑での主要作物 大豆の収量を上げるには

#### ●収量不安定、しわ粒多発が問題

大豆は、古来、豆腐、味噌、醤油、納豆などわが国の伝統食品として日本人の栄養を支えてきた。また、世界的にも主に油料や飼料穀物として、大豆の生産高は急増しており、2010年には2.62億tと、穀物ではトウモロコシ、水稻、小麦に次ぐ生産高となっている。

しかし、わが国の水田転換畑における主要作物である大豆は、収量が低く安定していない。さらに近年、北陸地域では、しわ粒の多発による品質低下が問題となっている。大豆のしわ粒には、種皮に亀の甲羅状のしわが生じる「亀甲じわ」、種皮と子葉にギザギザの波目模様ができる「ちりめんじわ」と性質が異なる2種類がある(関口ら・2008)。しわ粒の発生機構は完全には解明されていないが、亀甲じわは、収穫直前の乾湿の繰り返しによる種皮と子葉の剥離に由来すると考えられている。一方、ちりめんじわは、小粒で扁平な発育の悪い種子に多くみられ、生育後期における光合成

産物や窒素栄養の欠乏により発生する可能性が指摘されている(関口ら・2008、田淵・2007、Tewariら・2006b)。

#### ●窒素固定と窒素吸収が大切

大豆は、種子に約35~40%と多量のタンパク質を集積するため、1tの大豆種子を生産するには約80kgもの窒素を必要とし、同じ収量を得るにはイネの約4倍もの窒素が必要である。また、大豆は、栄養生長期間と生殖生長期間が重なり、子実肥大期の窒素要求量も高いため、開花期以降も窒素同化を高く持続することが重要である(大山・2000)。

大豆の収量は、生育期間全体の総窒素同化量と相関が高く、高い収量を上げるには、総窒素同化量をいかに増やすかが決め手である。大豆の場合、ほかの作物とは異なり、単純に施肥窒素量の増加で高い収量を得ることはむずかしい。これは、一般に多量の速効性窒素肥料の施肥は根粒形成と窒素固定を抑制し、莖葉部の徒長や倒伏、青立ちを引き起こすためである。また、大豆は、窒素の必要量が極めて高いため、窒素必要量全量を肥料で供給することは、農家の経済負担や環境負荷の面から好ましく

ない。したがって、大豆の多収栽培には、根粒の窒素固定を高くかつ長期にわたり維持することが大切になる。しかし、根粒の窒素固定だけでは十分な生育が確保できず、子実収量も上がらない。そこで、根粒の窒素固定と根からの地力窒素や肥料窒素の吸収との両立が大切である。

### ●窒素肥料の深層施肥試験

高橋らは、深層施肥播種機を用い、慣行の大豆用化成肥料の基肥施用（硫酸1.6kg N/10a、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 6 kg/10a、K<sub>2</sub>O 8 kg/10aを含む大豆用化成肥料を表土約0~10cmにロータリで全層施用）に加え、リニアタイプの被覆尿素（CU-100：商品名LP-100）10kg N/10aを基肥として播種と同時に播種列直下約20cmの深さに条施肥する新規施肥法を考案し（図-1）、慣行区よりも年次によらず多収が得られることを報告した（Takahashiら・1991、1992、1993c、1994、1999、高橋ら・1993ab）。1990年の新潟県農業試験場（現新潟県農業総合研究所）の水田転換初年度畑における圃場試験では、慣行区の収量480kg/10aに対し、深層施肥区では592kg/10aと極めて高い

収量が得られた（Takahashiら・1991）。

その後、Tewariらは、石灰窒素または被覆尿素を用いた深層施肥試験を新潟県内の3カ所の圃場で実施した（Tewariら・2002、2003、2004ab）。2001年に、長岡市にある新潟県農業総合研究所の水田転換初年度畑（Tewariら・2002）、道路工事残土を厚さ30cm客土造成した直後の長岡市の低地圃場（Tewariら・2003）、新潟市五十嵐の砂丘地圃場（Tewariら・2004a）において、石灰窒素と被覆尿素的深層施肥効果を比較検討した。窒素肥料は、高橋らの試験と同様に大豆用化成肥料の基肥施用に加えて、石灰窒素または被覆尿素10kg N/10aを播種直下約20cmの深さに施用した。この試験では、比較のために尿素的深層施肥区と深層施肥を行わない慣行区を設けた。大豆の品種は「エンレイ」を用いた。3つの圃場で肥料の効果を比べると、子実収量はどの圃場でも慣行区よりも尿素的深層施肥区がまさり、さらに被覆尿素的深層施肥区と石灰窒素深層施肥区で最高値を示した。石灰窒素深層施肥区と被覆尿素的深層施肥区では統計的に有意差はないが、石灰窒素深層施肥区の方が平均収量が高かった。

また、この試験では、根粒菌の接種効果も同時に調べた。バーミキュライトを充填したペーパーポットに優良根粒菌USDA110株を接種した大豆苗を移植した区では、種子接種区や根粒菌を接種しない非接種ペーパーポット移植区よりも収量が高かった。この試験の詳細は、『石灰窒素だより141号（大山ら・2006）』（現代農業別冊に転載、大山ら・2009）に紹介した。

本稿では、石灰窒素の深層施肥技術の新たな展開として、石灰窒素の施肥深さと施

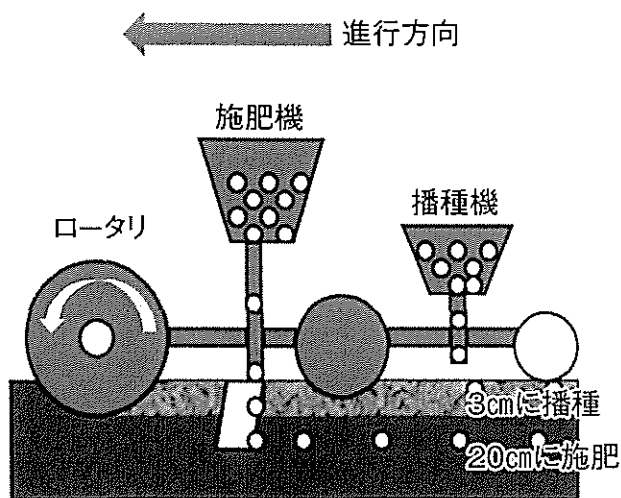


図-1 大豆用深層施肥機と耕うん、施肥、播種の概要

正転ロータリで耕うんした後、ナイフ状施肥管で土壌を割りながら深層部に条施肥する。土寄せ後、播種機で深さ3cmに大豆種子を播種する。

肥量が大豆の収量・品質におよぼす影響に関する試験結果を紹介するとともに、最近、細川らが(独)農研機構 中央農業総合研究センター北陸農業センターで開発した耕うん同時畝立て栽培技術と石灰窒素の深層施肥を組み合わせた坂下らの試験結果を紹介する。また、石灰窒素や窒素肥料の深層施肥技術は、大豆のみならず、麦や多用途米生産などの省力・省肥料栽培に活用できる可能性があり、現在、農林水産省の実用技術開発事業を実施しているので紹介する。

## 石灰窒素の施肥深度が大豆の収量・品質におよぼす影響

### ●水田転換畑で試験

大豆の栽培は、2003年に新潟県農業総合研究所(長岡)の水田転換畑で行った(Tewariら・2006a)。基肥は、窒素(1.6 kg N/10a)、リン酸(6 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/10a)、カリ(8 kg K<sub>2</sub>O/10a)を含む大豆用化成肥料と消石灰(100 kg Ca(OH)<sub>2</sub>/10a)を表面施用し、ロータリ耕うんで深さ約10 cmまでに全層混和した。処理区は、対照区(大豆用化成肥料の全層基肥のみで深層施肥は行わない)、大豆用化成肥料の基肥に加え、石灰窒素(10 kg N/10a)を播種直下深さ10 cm、15 cm、または20 cmに埋め込む10 cm区、15 cm区、20 cm区の4区を設けた。

大豆の品種は「エンレイ」を用い、播種密度は8.9株/m<sup>2</sup>(畝間75 cm、株間15 cm、1本立)で栽培した。一部に<sup>15</sup>N標識の石灰窒素(窒素濃度20.6%、<sup>15</sup>N濃度10.9 atom%)をあたえる区を設けた。播種時に、種子をダイズ根粒菌(*Bradyrhizobium japonicum*, USDA110株)懸濁液に10分間浸漬し、接種を行った。生育時期別に茎基部から導管

液を採取するとともに、植物地上部をサンプリングし、相対ウレイド法で窒素固定活性と窒素吸収速度を算出した(大山・1990、大山ら・1992)。また、石灰窒素の施肥深度が大豆の生育と子実の収量・品質におよぼす効果を調べた。

### ●乾物重、子実収量

開花盛期(R2:播種71日後)、子実肥大始期(R5:播種102日後)、成熟始期(R7:播種130日後)のどの時期においても、石灰窒素の施肥深度が深いほどよく生育し、地上部乾物重が高くなる傾向がみられた。特に、深さ20 cmに石灰窒素を施用した区の乾物重がどの時期にも最高値を示した。

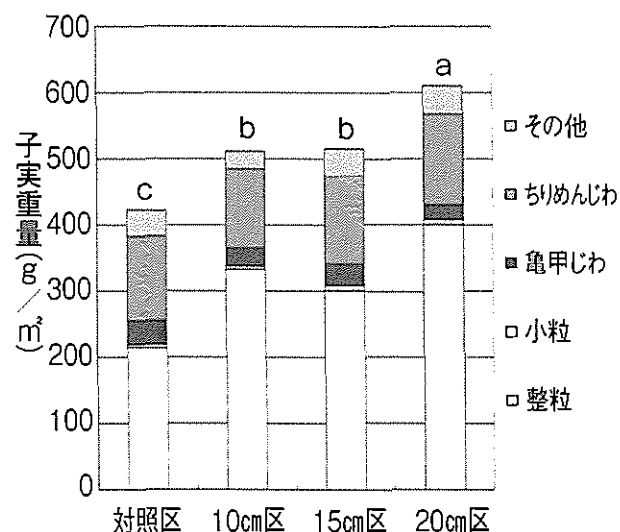


図-2 石灰窒素の施肥深度が大豆の子実収量・品質におよぼす影響

図の棒グラフの上の異なるアルファベットは5%以内の有意差を示す。

成熟期(R8:播種143日後)に収穫した大豆の子実収量は、対照区、10 cm区、15 cm区、20 cm区でそれぞれ428 g/m<sup>2</sup>、507 g/m<sup>2</sup>、525 g/m<sup>2</sup>、614 g/m<sup>2</sup>となり、生育が良好であった20 cm区の子実収量が最高であった(図-2)。

### ●整粒重量、子実整粒割合

整粒重量は、対照区、10 cm区、15 cm区、20 cm区でそれぞれ214 g/m<sup>2</sup>、329 g/m<sup>2</sup>、294 g/m<sup>2</sup>、401 g/m<sup>2</sup>となり、20 cm区の整

粒重量が最高であった。子実整粒割合も、対照区に比べて石灰窒素の施肥で10~15%高くなり、20cm区で最高値を示した。整粒割合が増加したのは、亀甲じわ、ちりめんじわ粒の割合がともに低下したことによる。

### ●窒素固定活性と窒素吸収速度

図-3に、生育時期別の根粒窒素固定活性と根からの窒素吸収速度の推移を示した。どの区も開花盛期(R2:播種71日後)から子実肥大始期(R5:播種102日後)に最高値を示し、その後、成熟始期(R7:播種130日後)まで低下した。深さ別では、10cm区と15cm区が対照区よりも高く推移し、20cm区が最も固定活性が高かった。根からの窒素吸収速度も同様の傾向が認められた。

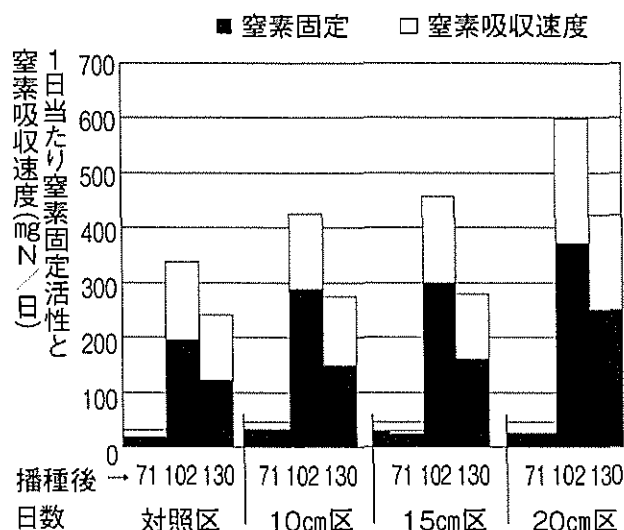


図-3 石灰窒素の施肥深度が大豆の生育時期別窒素固定速度、窒素吸収速度におよぼす影響

### ●<sup>15</sup>N標識石灰窒素の利用量

<sup>15</sup>N標識石灰窒素の利用量は、10cm区、15cm区、20cm区でそれぞれ1,240mg N/m<sup>2</sup>、1,310mg N/m<sup>2</sup>、1,760mg N/m<sup>2</sup>となり、10cm区と15cm区は同程度であったが、20cm区では高い値を示した。

### ●施肥深度20cmで増収と品質向上

長岡の水田転換畑では、石灰窒素の施肥

深度が10cm、15cmと比べて20cmで高い増収効果が認められた。また、20cm区では、10cm区、15cm区と比べて窒素固定活性の促進が著しく高く、かつ肥料利用率、土壤窒素吸収量も増加した。この理由として以下の点が挙げられる。

- ①試験圃場の耕盤が地表下20cm付近にあり、施肥した肥料が下方に移動しにくい。
- ②深い施肥位置ほど、石灰窒素から尿素、アンモニアへの変換が遅く、硝酸化成を受けにくい。
- ③深く施肥するほど、地上部近くに多く着生する根粒の生長や活性を阻害しにくい。
- ④深い位置に施肥することにより、深部の根の発達を促し、土壤由来窒素も多く吸収する。

## 石灰窒素の施肥量が大豆の収量・品質におよぼす影響

### ●水田転換畑で試験

栽培試験は、2003年に新潟県農業総合研究所(長岡)の水田転換畑で行った(Tewariら・2006b)。基肥、播種密度、根粒菌接種方法は、前述した「施肥深度の実験」と同様である。処理区は、対照区(大豆用化成肥料の基肥)に加え、石灰窒素5kg N/10a、10kg N/10a、20kg N/10aを播種直下深さ20cmに深層施肥する5kg N区、10kg N区、20kg N区を設けた。一部に<sup>15</sup>N標識の石灰窒素をあたえる区を設けた。生育時期別に試料を採取し、石灰窒素の施肥量が大豆の生育、窒素同化および子実の収量・品質におよぼす効果を調べた。

### ●子実収量、品質

図-4に示したように、子実収量は、対照区、5kg N区、10kg N区、20kg N区でそれぞれ485g/m<sup>2</sup>、530g/m<sup>2</sup>、585g/m<sup>2</sup>、

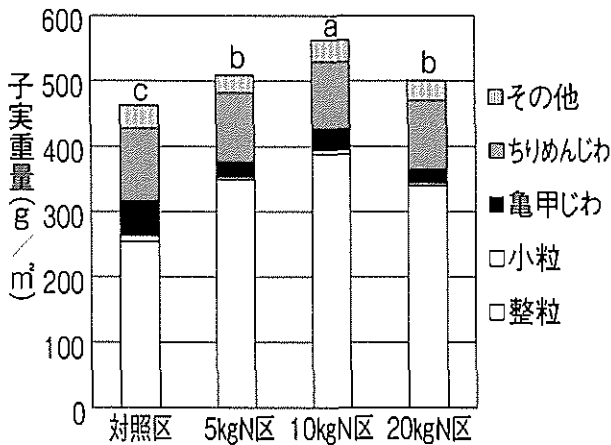


図-4 石灰窒素深層施肥(20cm)の施肥量が大豆の子実収量・品質におよぼす影響

図の棒グラフの上の異なるアルファベットは5%以内の有意差を示す。

515g/m<sup>2</sup>となり、10kg N/10a区で最高収量が得られた。種子品質割合については、石灰窒素の深層施肥でいずれの施肥量でも整粒割合が対照区の52%から67%前後に増加し、亀甲じわが半減し、ちりめんじわの割合も低下した。

●窒素固定活性と窒素吸収速度

図-5に、生育時期別の根粒窒素固定活性と根からの窒素吸収速度の推移を示した。どの区も開花盛期(R2:播種71日後)から子実肥大始期(R5:播種102日後)に最高値を示し、その後、成熟始期

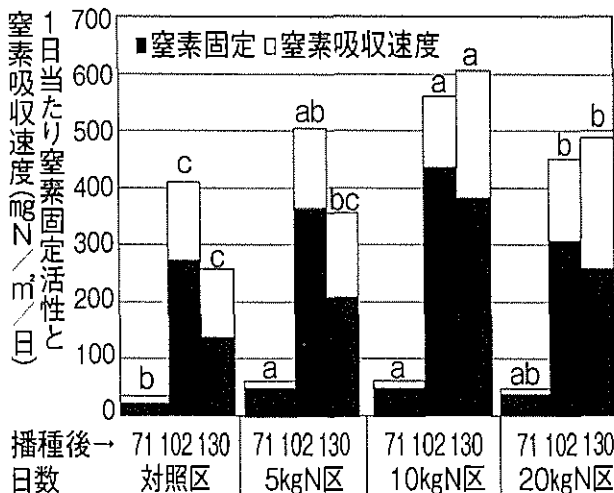


図-5 石灰窒素の施肥量が大豆の生育時期別窒素固定速度、窒素吸収速度におよぼす影響

図の棒グラフの上の異なるアルファベットは5%以内の有意差を示す。

(R7:播種130日後)まで低下した。施肥量別では、5kg N区と20kg N区が対照区よりも高く推移し、10kg N区が最も固定活性が高かった。根からの窒素吸収速度は、子実肥大始期(R5:播種102日後)以降、10kg N区と20kg N区が対照区、5kg N区より高くなった。しかし、10kg N区と20kg N区では、ほぼ同等の吸収速度を示した。

●<sup>15</sup>N標識石灰窒素の利用量

<sup>15</sup>N標識石灰窒素の利用量は、5kg N区、10kg N区、20kg N区でそれぞれ345mg N/m<sup>2</sup>、710mg N/m<sup>2</sup>、1,000mg N/m<sup>2</sup>となり、10kg N区では、5kg N区のほぼ2倍の吸収量であったが、20kg N区では10kg N区より吸収量は増加したものの1.4倍に留まった。

●窒素固定の促進効果

今回の試験では、石灰窒素施用量20kg N/10a区は窒素施用量が多いにもかかわらず、10kg N/10a区よりも大豆の収量が低下した。これは、施肥窒素吸収量は増加したが、窒素固定の促進効果が10kg N/10a区よりも低下したためである(図-5)。

Yashimaら(2005)は、大豆の根を上下二重のポットで栽培し、下部ポットの水耕液に硝酸をあたえて、上部根の根粒形成と窒素固定にあたる影響を調べた。その結果、下部ポットに比較的高に濃度の硝酸(5mM/L)を継続的にあたえると上部ポットの根粒生長および窒素固定活性が阻害されたが、下部ポットから低濃度の硝酸(1mM/L)をあたえて栽培したところ、上部ポットの根粒形成と窒素固定が促進された。この実験から、深い位置に低レベルではあるが継続的に化合態窒素が根に供給されると、地表近くの根粒形成を抑制せず、むしろ促進する可能性があることが確かめられた。

## 深層施肥した石灰窒素と被覆尿素の大豆生育時期別吸収パターン

### ●水田転換畑で試験

栽培試験は、2005年に新潟県農業総合研究所（長岡）の水田転換畑で行った（Tewariら・2007）。栽培方法は前記と同様である。処理区は、対照区 [大豆用化成肥料の基肥のみで深層施肥は行わない]、被覆尿素区 [大豆用化成肥料の基肥に加え、100日タイプの被覆尿素CU-100（10kg N/10a）を播種直下深さ20cmに埋め込む]、石灰窒素区 [大豆用化成肥料の基肥に加え、石灰窒素（10kg N/10a）を播種直下深さ20cmに埋め込む] を設けた。栽培区の一部に<sup>15</sup>N標識の被覆尿素（窒素濃度40%、<sup>15</sup>N濃度3.22atom%）または石灰窒素（窒素濃度20.6%、<sup>15</sup>N濃度10.8atom%）をあたえる区（施肥量10kg N/10a）を設けた。

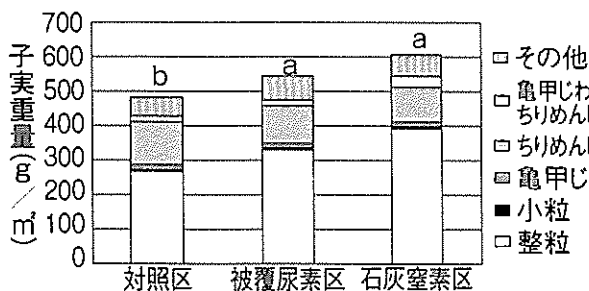


図-6 石灰窒素と被覆尿素的深層施肥が大豆の子実収量・品質におよぼす影響

図の棒グラフの上の異なるアルファベットは5%以内の有意差を示す。

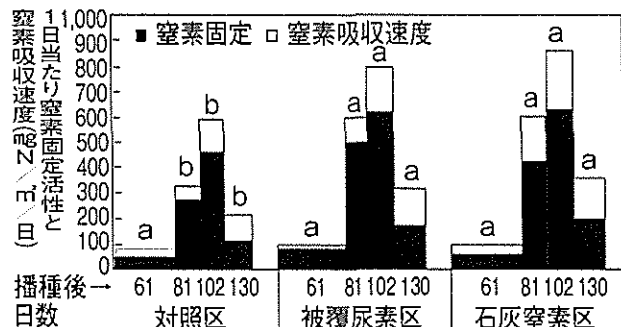


図-7 石灰窒素の施肥深度が大豆の生育時期別窒素固定速度、窒素吸収速度におよぼす影響

図の棒グラフの上の異なるアルファベットは5%以内の有意差を示す。

### ●子実収量、品質

子実の収量と品質割合（図-6）は、被覆尿素または石灰窒素の深層施肥で改善され、整粒割合は、対照区57%に対し、被覆尿素区62%、石灰窒素区66%と増加した。同時に、ちりめんじわの割合が低下し、しわ粒の低減に効果が認められた。

### ●窒素固定活性と窒素吸収速度

図-7に、根粒窒素固定活性と根からの窒素吸収速度の生育時期別推移を示した。どの区も開花始期（R1：播種61日後）以降に窒素固定活性が高まり、着莢始期（R3：播種81日後）から子実肥大始期（R5：播種102日後）に最高値を示し、その後、成熟始期（R7：播種130日後）まで低下した。石灰窒素と被覆尿素的深層施肥区では、開花始以降、窒素固定活性が対照区よりも高く推移し、本施肥法が窒素固定を抑制しないことがわかった。

### ●肥料由来窒素吸収量

図-8に、生育時期別の被覆尿素と石灰窒素由来窒素吸収量の推移を示した。両者由来の窒素吸収量は、開花始期（R1：播種61日後）まではほぼ同等であるが、着莢始期（R3：播種81日後）、子実肥大始期（R5：播種102日後）には被覆尿素が石灰窒素を上回った。しかし、石灰窒素は、子実肥大始期から成熟始期（R7：播

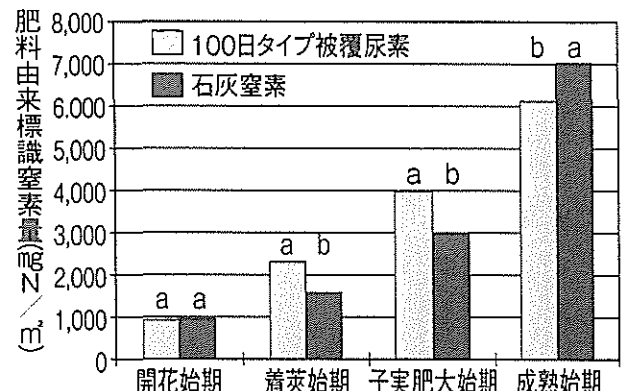


図-8 深層施肥した被覆尿素由来窒素または石灰窒素の大豆地上部への吸収

種130日後)にかけて多量に吸収され、成熟始期の石灰窒素吸収量は被覆尿素吸収量を上回った。成熟始期の石灰窒素と被覆尿素的の器官別分配率はほぼ同様であり、子実に約半分が分配された。

### ●石灰窒素の吸収経過

石灰窒素と被覆尿素的の比較については、これまでTewariらの研究で、石灰窒素を深さ20cmの位置に10kg N/10a施肥することにより、被覆尿素と同等かそれ以上の増収効果が認められた(Tewariら・2011、大山ら・2011)。今回、石灰窒素と被覆尿素的の吸収経過を生育時期で追って調べた。その結果、石灰窒素は開花始期(R1)までは被覆尿素的のCU-100とほぼ同様に吸収されるが、その後、被覆尿素より吸収が少なく、子実が肥大しタンパク質を蓄える子実肥大始期(R5)から成熟始期(R7)までに大量の窒素を供給することが明らかとなった。このような窒素の供給パターンは、大豆の窒素要求パターンと合致しており、窒素固定を促進する効果も高いものと考えられる。石灰窒素が、子実肥大始期(R5)の施肥100日目以降に多量に吸収されることは、石灰窒素の土壌中での分解速度として一般に考えられているよりもかなり遅い。

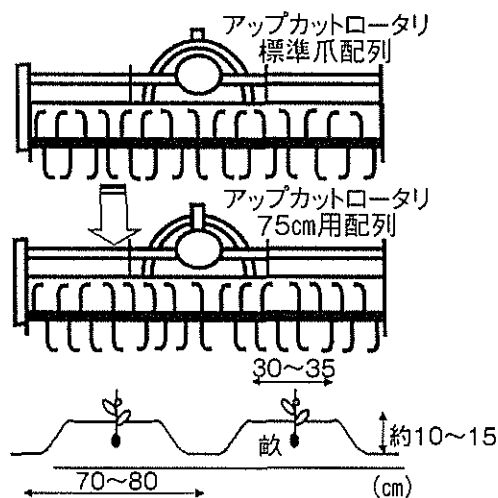


図-9 アップカットロータリの爪配列と、畝の作製(細川ら・2005)

これは、石灰窒素を深さ20cmに施肥したため、アンモニアからの硝酸化成の遅れと、根が施肥位置に到達してから吸収されたことによるのではないかと考えられる。

## 耕うん同時畝立て栽培大豆における石灰窒素の深層施肥効果を農家圃場で検証

### ●耕うんと同時に畝立てが可能

大豆は湿害に弱く、特に日本海側で広く分布している重粘土水田では排水不良が起りやすく、湿害が生育・子実収量に影響することが知られている。細川らは、(独)農研機構 中央農研センター北陸研究センターにおいて、アップカットロータリの耕うん爪を変えることにより、耕うんと同時に畝立てができるように改良した(図-9)(細川・2004、細川ら・2005、Takahashira・2006、みんなの農業広場、農研機構ホームページ)。ロータリの後部に施肥機と播種機を装着することにより、畝立て、耕うん、施肥、播種を一工程で行うことができるので、作業能率が向上し降雨への対応にも優れている。耕うん同時畝立て播種栽培技術は、専用機が既に1,000台以上販売され広く普及しており、湿害の軽減による収量の増加が認められている。

### ●畝立てで生育初期の排水促進

多くの大豆は、排水が不良な水田で栽培されている(細川ら・2005)ため、湿害の発生により、苗立ちが安定せず、初期生育が不良となる場合がある。細川らの耕うん同時畝立て播種栽培では、最初の播種時から、第1回目の中耕培土を実施した後と同様に、大豆の畝が高く、畝間が低くなるため、初期の排水が促進される。さらに、慣行栽培に比べて、播種位置が高くなるた

め、地下水位の高い圃場や、播種後に強い雨が降っても正常に発芽生育し、種子の腐敗や出芽不良が回避された(細川・2004)。

### ●子実重、子実百粒重

排水条件の異なる3圃場(A圃場は暗渠あり、B圃場とC圃場は暗渠なし)で栽培試験を実施した結果、図-10のように、A、B、C圃場いずれも増収効果がみられ、増収率はそれぞれ26%、13%、25%であった(細川・2004)。増収効果は、粒数の増加とともに、百粒重の増加にもよった(図-11)。

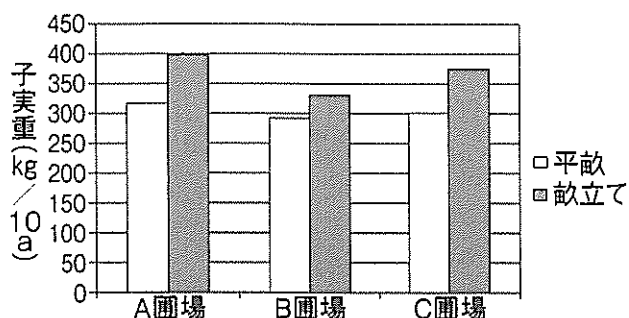


図-10 3カ所の圃場における平畝栽培と畝立て栽培の大豆子実重の比較(細川・2004より作図)

生育期間中の地下水位30cm以下の割合：A圃場60%、B圃場10%、C圃場(20%)。3カ所の圃場とも5%水準で有意。

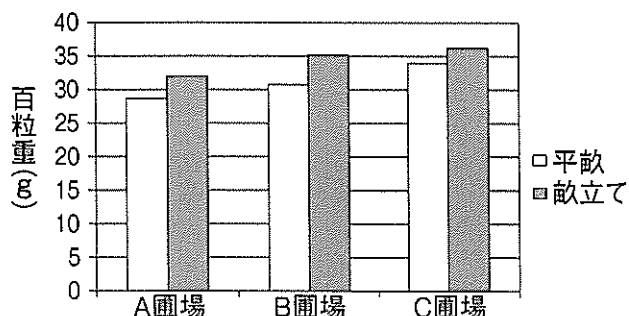


図-11 3カ所の圃場における平畝栽培と畝立て栽培の大豆百粒重の比較(細川・2004より作図)

A圃場、B圃場は、それぞれ5%、1%水準で有意。3カ所の圃場とも5%水準で有意。

### ●窒素固定量、窒素吸収量

湿害は、土壌の酸素濃度の低下を招き、根粒の着生や窒素固定を著しく阻害する。また、根の発育を阻害し、養水分の吸収も低下する。細川の試験結果では、畝立て栽培を行うことにより、慣行栽培に比べて常に地下水位が低く、表層に近い部分の土壌

水分が低くなり、降雨後の土中酸素濃度の回復が早くなった(細川・2004)。そのため、どの圃場でも、畝立て栽培では、平畝栽培よりも窒素固定量、窒素吸収量ともに増加した(図-12)。

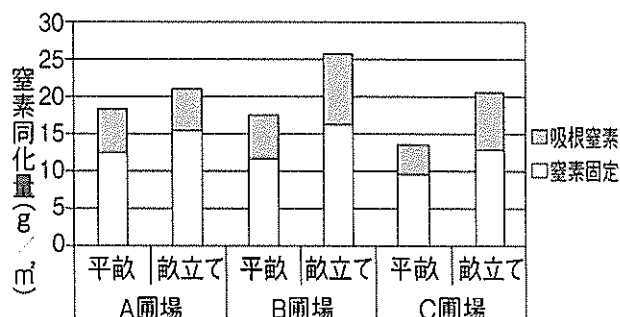


図-12 3カ所の圃場における平畝栽培と畝立て栽培の大豆吸根窒素と、窒素固定の比較(細川・2004より作図)

A圃場、B圃場は、それぞれ5%、1%水準で有意。

### ●ちりめんじわ粒率が改善

同様な結果が、南雲ら(2010)により、新潟県農業総合研究所の転換畑でも確認されている。南雲らは、生育後期の窒素供給を高めるために、畝立て播種と、シグモイド型被覆尿素(CUS60の培土期追肥またはCUS120の基肥施用)を併用した。その結果、畝立て播種と被覆尿素的併用により、子実収量は最も増加する傾向が認められた(図-13)。また、畝立て栽培や、畝立て栽培と被覆尿素的併用により、ちりめんじわ粒率が慣行の12%から4~6%と半分以下に改善された(図-14)。

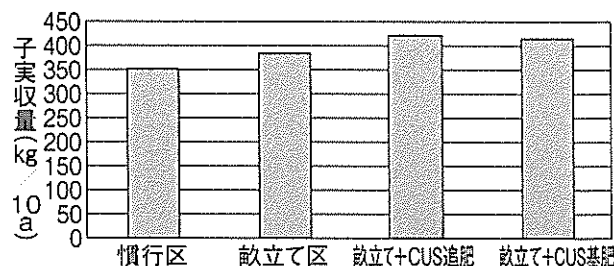


図-13 長岡市の細粒グライ土圃場における平畝栽培と畝立て栽培の大豆子実重の比較(南雲ら・2010より作図)

慣行区:平畝慣行栽培。畝立て区:畝立て同時施肥播種栽培。畝立て+CUS追肥区:畝立て同時施肥播種栽培で、60日シグモイド型被覆尿素有培土時に追肥。畝立て+CUS追肥区:畝立て同時施肥播種栽培で、120日シグモイド型被覆尿素有畝立て播種時に基肥として施用



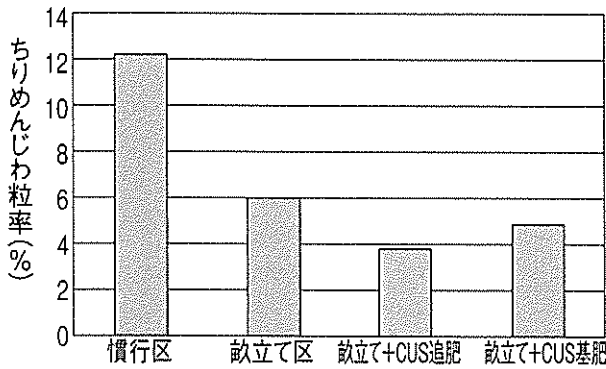


図-14 長岡市の細粒グライ土圃場における平畝栽培と畝立て栽培の大豆種子のちりめんじわ粒発生率の比較 (南雲ら・2010より作図)

慣行区、畝立区、畝立て+CUS追肥区、畝立て+CUS基肥区：図-13と同じ

### ●石灰窒素の深層施肥による増収効果

坂下らは、北陸研究センターが開発した耕うん同時畝立て播種機に深層施肥機を組み合わせた作業機(写真-1、図-15)により、畝上面から深さ20cmの位置に石灰窒素を深層施肥する方法で、農家における大



写真-1 耕うん同時畝立てによる深層施肥機 (坂下ら・2011より転載)

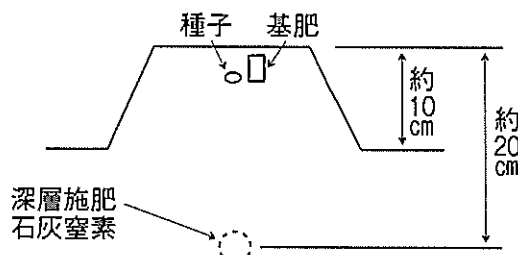


図-15 作業後畝内の様子(坂下ら・2011より転載)

大豆種子、基肥、深層施肥した石灰窒素の位置関係

豆の増収効果を調べた。平畝栽培で地表から20cmに施肥するには、耕うん層の下10cm程度の未耕土を切り進むため、頑丈なナイフ状施肥管と、比較的高い牽引エネルギーを必要とする。一方、畝立てと深層施肥の併用では、アップカットロータリで地表下12cmを耕うんすると同時に、約10cmの高さの畝がつかれるため、施肥位置を畝上部から深さ20cmとするには、地表から約10cmの深さの位置に施肥すればよいことになり、未耕地を切る必要はない。そのため、軽量の施肥管の使用が可能であり、トラクタへの負担は軽くできるメリットがある。さらに、排水改善により生育前半の改善効果が大きい畝立て栽培と、生育後半の改善効果が大きい深層施肥法を組み合わせることにより、重粘土水田転換畑での大豆栽培への効果が期待できる。試験の詳細は、坂下ら(2011)の既報を参照いただきたい。

### ●農家圃場(新潟、富山)で試験

この試験は、2008年から2010年まで新潟県、富山県の農家圃場で実施した。大豆品種は「エンレイ」を用いた。圃場を二分し、一方を耕うん同時畝立て播種のみ対照区とし、他方を耕うん同時畝立て播種石灰窒素深層施肥併用区とした。基肥量は、農家の慣行にあわせ、窒素で2~3kg N/10aを播種位置の横に条施肥した(写真-1)。深層施肥区は、石灰窒素(6kg N/10a)を、播種条直下に、畝上部から20cmの深さに条施肥した。

図-16に、8カ所の圃場における対照区と深層施肥区の品質別子実収量を示した。収量では、2010年試験地⑦の1地点を除いて、いずれも深層施肥区が対照区を上回った。全試験区の深層施肥による平均増収率は29%であった。新潟県、富山県

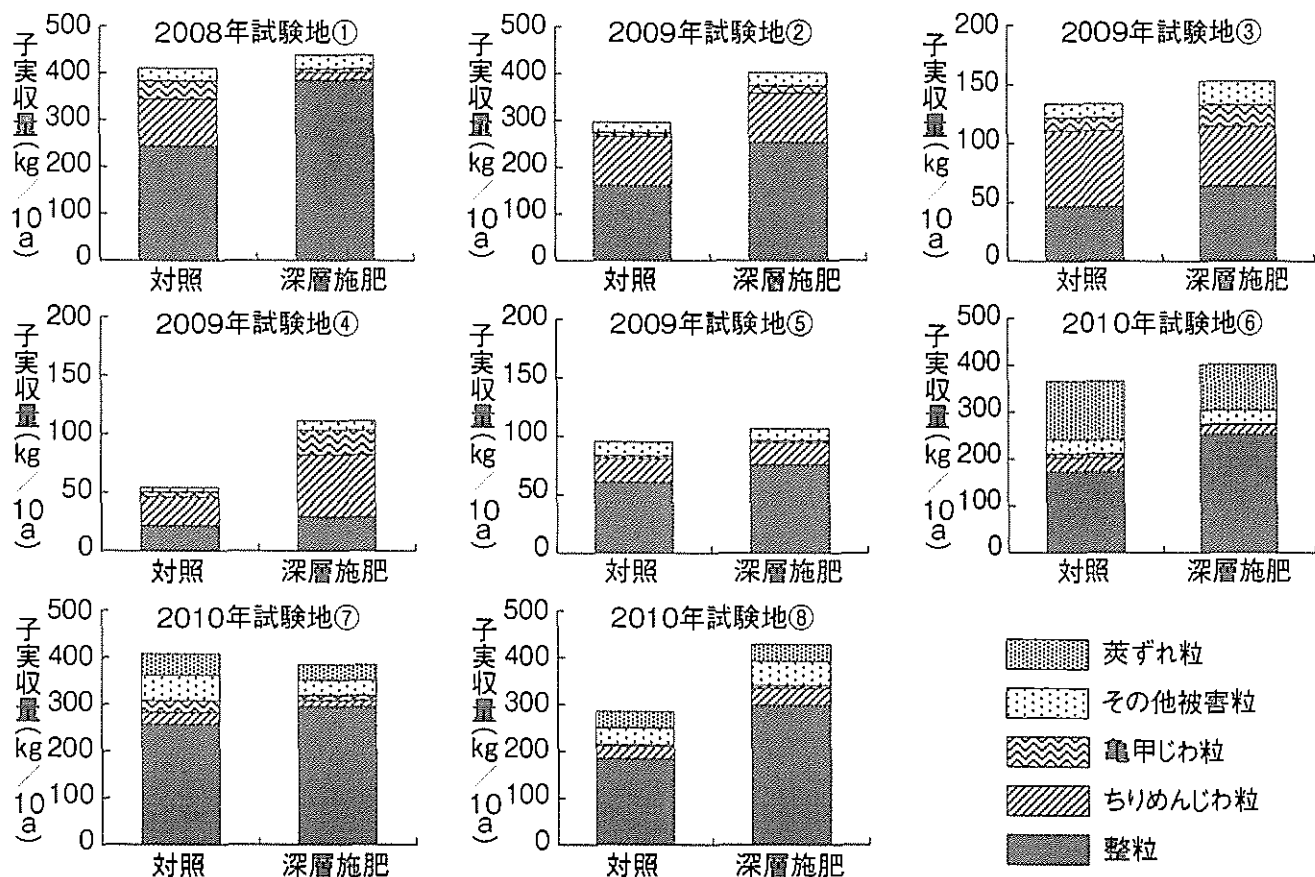


図-16 大豆畝立て播種栽培における深層施肥の効果(坂下ら・2011)

対照区、深層施肥区とも、畝立て同時播種栽培を実施。深層施肥区は、6kg N/10aの石灰窒素を深さ20cmに基肥として深層施用した。

の土壌タイプ、重埴土、埴壤土、砂壤土で、いずれも効果がみられた。対照区と深層施肥区で、百粒重は変わらなかったことから、深層施肥区の増収要因は、一次分枝数の増加と総節数の増加による莢数の増加とそれにとまなう子実数の増加であった。

深層施肥区では、すべての圃場で慣行区よりも整粒重の増加がみられた。その要因は、ちりめんじわの発生が低下したことによる。ちりめんじわは、生育後期の窒素や、光合成産物の供給不足により多発することが知られている(関口ら・2008)。石灰窒素の深層施肥は、生育後期まで窒素を補給するとともに、葉の老化を抑制し、光合成産物の種子への供給を維持したと考えられる。

水田転換畑での大豆栽培の利点としては、水稻栽培時の湛水による雑草や土壌病害の抑制効果や灌水機能などが挙げられる。一方、留意点としては、湿害による障

害、田畑輪換を繰り返すことによる地力の消耗、耕盤による根域制限のための根伸長阻害などが挙げられている(全農ホームページ)。最近、水田の灌水機能を利用して、暗渠を排水だけでなく給水にも用いることにより地下水を自由に設定できる「地下水位制御システム(FOEAS)」が開発され、大豆の湿害防止と干ばつ対策への有効性が期待されている[(独)農研機構]。

畝立て栽培は湿害の防止に有効であり、発芽苗立ち、生育初期の根と根粒の発達を促進する。また、石灰窒素の深層施肥技術は、窒素固定を阻害せず生育後期に窒素を供給し、地力低下の補完という意味合いもある。このことから、排水不良の重粘土水田では、畝立て栽培と石灰窒素深層施肥の併用で大豆の安定多収が期待され、専用の施肥機の普及が望まれる。

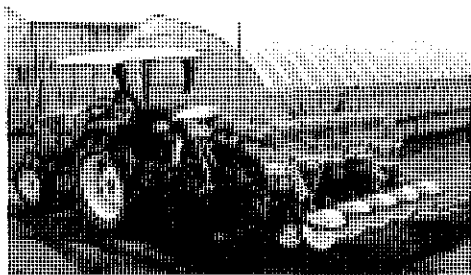
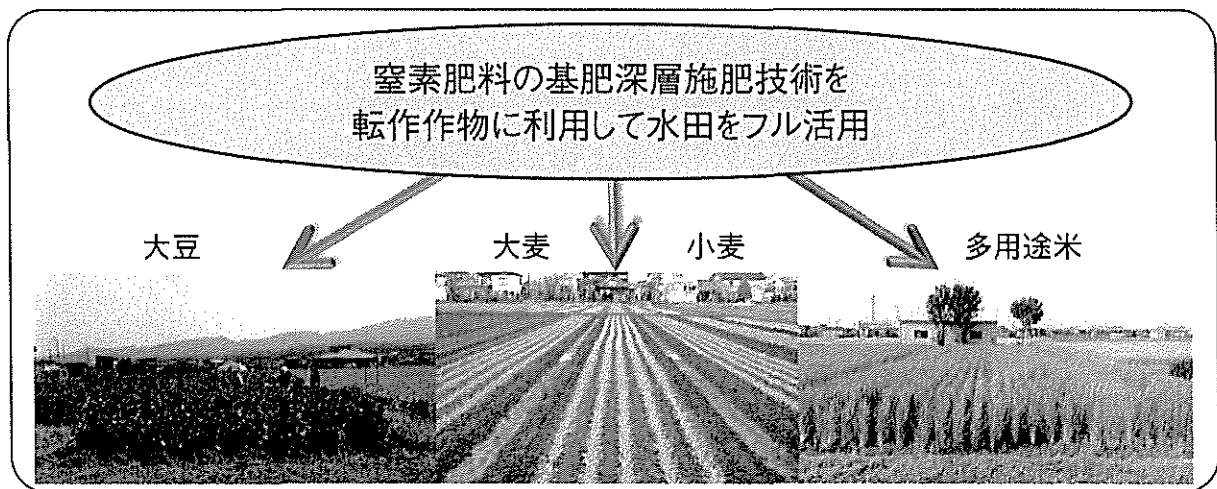
## 窒素深層施肥による 水田フル活用

現在、わが国ではコメ以外の穀物自給率は極めて低く、水田転作が実施されている。しかし、転換畑での穀物生産は、畑作物の湿害に加え、農家の高齢化や委託栽培面積の拡大などにより、いっそう効率的な栽培法が求められている。これまで、著者らは、新潟県における水田転換畑で被覆尿素や石灰窒素の播種条下への基肥深層施肥が、大豆子実の安定多収と品質向上に寄与することを確認した。また、深層施肥装置を改良し、大麦栽培にも本技術の適用が可能であることを示した。

これらを基礎に、平成23年度から「新たな農林水産政策を推進する実用技術開発事業：窒素深層施肥による水田フル活用－

大豆、麦、多用途米の新規生産向上技術の開発と普及」を、新潟大学、秋田県立大学、(独)農研機構 中央農研北陸研究センター、新潟県農業総合研究所、松山株式会社、電気化学工業株式会社の連携により開始した(写真-2)。

このプロジェクト研究では、水田転換畑における主要転作作物である大豆、大麦、小麦、多用途米の生産性向上と、省力・省エネルギー栽培を目的とし、これまで大豆で確立した窒素肥料の深層施肥技術を各種水田転換作物へ利用し、深層施肥機の改良と普及をめざしている。追肥回数の多い大麦、小麦、多用途米などの生産でも、窒素肥料の深層施肥により、全量基肥または最小限の追肥で栽培し、生産性向上と、省力・省肥料・省エネルギー栽培、環境保全技術の確立をめざしている。



大豆、大麦両用試作機

- 1) 深層施肥機の改良と普及機の開発
- 2) 深層施肥に適した窒素肥料の検討
- 3) 北陸地域での普及をめざした総合的、実践的検討
- 4) 農家における深層施肥技術の検証と普及

写真-2 窒素肥料の深層施肥技術の各種水田転換作物への汎用化と普及のためのプロジェクト  
平成23年度新たな農林水産政策を推進する実用技術開発事業：窒素深層施肥による水田フル活用－大豆、麦、多用途米の新規生産向上技術の開発と普及(2011)

●引用文献

1. (独)農研機構他、地下水位制御システム (FOEAS) による大豆の安定生産マニュアル

[www.naro.affrc.go.jp/narc/contents/files/daizufoeas.pdf](http://www.naro.affrc.go.jp/narc/contents/files/daizufoeas.pdf)

2. 平成23年度新たな農林水産政策を推進する実用技術開発事業：窒素深層施肥による水田フル活用—大豆、麦、多用途米の新規生産向上技術の開発と普及 (2011)

[www.s.affrc.go.jp/docs/research\\_fund/2011/pdf/23007\\_gaiyo.pdf](http://www.s.affrc.go.jp/docs/research_fund/2011/pdf/23007_gaiyo.pdf)

3. 細川寿 (2004) 大豆の耕うん同時畝立作業機による重粘土転換畑の湿害回避技術、農業機械学会誌、66 (5)、14—16、

4. 細川寿・高橋智紀・松崎守夫・足立一日出 (2005) 第3章 ダイズ作における安定生産技術の開発、2) 湿害回避のためのダイズ用耕うん同時畝立播種作業技術の開発、ファーミングシステム研究、7、113—122、

5. みんなの農業広場：耕耘同時畝立播種技術により大豆の安定栽培をはかる

<http://www.jeinou.com/technology/2007/04/04/130825.html>

6. 南雲芳文・佐藤徹・服部誠・土田徹・細川寿・高橋能彦・大山卓爾 (2010) 排水不良転換畑における畝立栽培およびシングモイド型被覆尿素肥料施用によるダイズの窒素集積増加とちりめんじわ粒発生率軽減効果、日本土壤肥料学雑誌、81、360—366、

7. 農研機構ホームページ；耕耘同時畝立播種機を利用した湿害軽減技術、

[http://www.naro.affrc.go.jp/disaster/ad\\_tec/tec0200/tec0201/018238.html](http://www.naro.affrc.go.jp/disaster/ad_tec/tec0200/tec0201/018238.html)

8. 大山卓爾 (1990) “第V章 窒素化合物分析法”. 植物栄養実験法. (日本土壤肥料学会監修) 博友社、174—203

9. 大山卓爾・高橋能彦・池主俊昭・中野富夫 (1992) 単純相対ウレイド法による圃場栽培ダイズの窒素固定活性と窒素吸収速度の評価. 農業および園芸、67、1157—1164

10. 大山卓爾 (2000) ダイズの特性と収量の考え方. 農業技術大系追録、第22号、農文協、技3—

11. 大山卓爾・ティワリ カウサル・高橋能彦 (2006) ダイズ、2つの問題点をクリアした2つの方法〈深層施肥と根粒菌接種〉. 石灰窒素だより、141、1—9

12. 大山卓爾・ティワリ カウサル・高橋能彦 (2009) ダイズ、2つの問題点をクリアした2つの方法、深層施肥と根粒菌接種. 別冊現代農業、2009年7月号「農家直伝、豆をトコトン楽しむ—食べ方・加工か

ら育て方まで」120—126

13. 大山卓爾・大竹憲邦・末吉邦・ティワリ カウサル・南雲芳文・土田徹・高橋能彦 (2011) 第3章 作物栄養条件がしわ粒発生に及ぼす影響の解明 窒素施肥法が子実成分集積としわ粒発生に及ぼす影響、ファーミングシステム研究10、「北陸地域に多発する大豆しわ粒の発生防止技術の開発」、50—75

14. 関口哲生・小原洋・新良力也・亀川健一・田淵公清 (2008) ダイズ子実の縮緬じわ発生に及ぼす切葉、摘葉処理の影響、日本土壤肥料学雑誌、79、81—85

15. 坂下普志・野坂佳史・細川寿 (2011) 耕うん同時畝立栽培ダイズにおける石灰窒素の深層施肥の効果、農業および園芸、86、981—986

16. 田淵公清 (2007) 北陸地域におけるダイズのしわ粒などの品質低下要因の解明と対策、北陸作物学会報、42 140—143

17. Takahashi, T., Hosokawa, H., Matsuzaki, M. (2006) N<sub>2</sub> fixation of nodules and N absorption by soybean roots associated with ridge tillage on poorly drained upland fields converted from rice paddy fields, *Soil Sci. Plant Nutr.*, 52, 291—299

18. Takahashi, Y., Chinushi, T., Nagumo, Y., Nakano, T., Ohyama, T. (1991) Effect of deep placement of controlled release nitrogen fertilizer (coated urea) on growth, yield and nitrogen fixation of soybean plants. *Soil Sci. Plant Nutr.*, 37, 223—231

19. Takahashi, Y., Chinushi, T., Nakano, T., Ohyama, T. (1992) Evaluation of N<sub>2</sub> fixation and N absorption activity by relative ureide method in field grown soybean plants with deep placement of coated urea. *Soil Sci. Plant Nutr.*, 38, 699—708

20. 高橋能彦・池主俊昭・中野富夫・大山卓爾 (1993a) 緩効性窒素肥料 (被覆尿素) の深層施肥によるダイズ安定多収技術の植物栄養学的解析. 農業および園芸、68、282—288

21. 高橋能彦・池主俊昭・中野富夫・大山卓爾 (1993b) ダイズ栽培圃場において追肥または深層施肥した被覆尿素の土壤中における動態. 日本土壤肥料学雑誌、64、338—340

22. Takahashi, Y., Chinushi, T., Ohyama, T. (1993c) Quantitative estimation of N<sub>2</sub> fixation and absorption rate in field grown soybean plants by relative ureide method. *Bull. Fac. Agric. Niigata Univ.*, 45, 91—105

23. Takahashi, Y., Chinushi, T., Nakano, T., Ohyama, T. (1994) Yield components of soybean plants with deep placement of N fertilizer, related to high productivity. *J. Niigata Agric. Exp. Strn.*, 40, 7—15

24. Takahashi, Y., Ohyama, T. (1999) Technique for deep placement of coated urea fertilizer in soybean cultivation. JARQ, 33, 235–242.
25. Tewari, K., Suganuma, T., Fujikake, H., Ohtake, N., Sueyoshi, K., Takahashi, Y., Ohyama, T. (2002) Effect of deep placement of calcium cyanamide, coated urea, and urea on soybean (*Glycine max* (L.) Merr.) seed yield in relation to different inoculation methods. Soil Sci. Plant Nutr., 48, 855–863
26. Tewari, K., 皆川律子・菅沼丈人・藤掛浩行・大竹憲邦・末吉邦・高橋能彦・土田徹・大山卓爾 (2003) 窒素深層施肥と根粒菌接種が客土造成転換畑初作サイズに及ぼす影響. 日本土壤肥料学雑誌, 74, 183–189
27. Tewari, K., Suganuma, T., Fujikake, H., Ohtake, N., Sueyoshi, K., Takahashi, Y., Ohyama, T. (2004a) Effect of deep placement of N fertilizers and different inoculation methods of bradyrhizobia on growth, N<sub>2</sub> fixation activity and N absorption rate of field grown soybean plants., J. of Agronomy and Crop Science, 190, 46–58
28. Tewari, K., Onda, M., Fujikake, H., Ohtake, N., Sueyoshi, K., Takahashi, Y., Ohyama, T. (2004b) Effect of placement of urea and coated urea on yield and quality of soybean (*Glycine max* (L.) Merr.) seed. Soil Sci. Plant Nutr., 50, 1245–1254
29. Tewari, K., Onda, M., Ito, S., Yamazaki, A., Fujikake, H., Ohtake, N., Sueyoshi, K., Takahashi, Y., Ohyama, T. (2005a) <sup>15</sup>N analysis of promotive effect of deep placement of slow release N fertilizers on growth and seed yield of soybean. Soil Sci. Plant Nutr., 51, 501–512
30. Tewari, K., Onda, M., Ito, S., Yamazaki, A., Fujikake, H., Ohtake, N., Sueyoshi, K., Takahashi, Y., Ohyama, T. (2005b) Comparison of the effects of application of deep placement of slow release N (lime nitrogen and coated urea), P and K fertilizers on yield and quality of soybean (*Glycine max* (L.) Merr.) seed. Bull. Faculty of Agriculture, Niigata University, 58, 45–53
31. Tewari, K., Onda, M., Ito, S., Yamazaki, A., Fujikake, H., Ohtake, N., Sueyoshi, K., Takahashi, Y., Nagumo, Y., Tsuchida, T., Ohyama, T., (2006a), Comparison of the depth of placement of lime nitrogen on growth, N<sub>2</sub> fixation activity, seed yield and quality of soybean (*Glycine max* (L.) Merr.) plants, Soil Sci. Plant Nutr. 52, 453–463
32. Tewari, K., Onda, M., Ito, S., Yamazaki, A., Fujikake, H., Ohtake, N., Sueyoshi, K., Takahashi, Y., Ohyama, T. (2006a) Effect of deep placement of slow release fertilizer (lime nitrogen) applied at different rates on growth, N<sub>2</sub> fixation and yield of soybean (*Glycine max* [L.] Merr.) . J. of Agronomy and Crop Science, 192, 417–426
33. Tewari, K., Sato, T., Abiko, M., Ohtake, N., Sueyoshi, K., Takahashi, Y., Nagumo, Y., Tsuchida, T., Ohyama, T. (2007), Analysis of the nitrogen nutrition of soybean plants with deep placement of coated urea and lime nitrogen. Soil Sci. Plant Nutr. 53, 772–781
34. Tewari, K., Nagumo, Y., Takahashi, Y., Sueyoshi, K., Ohtake, N., Ohyama, T. (2011) A New Technology of Deep Placement of Slow Release Nitrogen Fertilizers for Promotion of Soybean Growth and Seed Yield. Nova Science Publishers, Inc. New York
35. Yashima, H., Fujikake, H., Yamazaki, A, Ito, S., Sato, T., Tewari, K., Ohtake, N., Sueyoshi, K., Takahashi, Y., Ohyama, T., (2005) Long-term effect of nitrate application from lower part of roots on nodulation and N<sub>2</sub> fixation in upper part of roots of soybean (*Glycine max* (L.) Merr.) in two-layered pot experiment. Soil Sci. Plant Nutr., 51, 981–990
36. 全農HP:土地利用型農業 地下水制御システム「FOEAS」転換畑における作物生産の技術ポイント [www.agri.zennoh.or.jp/FOEAS/FOEAS\\_pam\\_2.pdf](http://www.agri.zennoh.or.jp/FOEAS/FOEAS_pam_2.pdf)

## 謝辞

<sup>15</sup>N標識石灰窒素をご提供いただいた日本石灰窒素工業会に深謝申し上げます。また、本研究を遂行するにあたり、科学技術振興機構 (JST) FS「高収量・環境保全型サイズ、オオムギ両用深層施肥機の開発」(平成17年度)、新潟大学プロジェクト研究経費「石灰窒素の深層施肥による作物の増収と環境保全型農業の両立」(平成21–23年度)、ならびに農林水産省新たな農林水産政策を推進する実用技術開発事業「窒素深層施肥による水田フル活用—大豆、麦、多用途米の新規生産向上技術の開発と普及」(平成23年度より)の補助をいただいたことに感謝申し上げます。松山株式会社の浦野様には、深層施肥機の改良にご協力いただいたことを深く感謝申し上げます。