

水田転換畑におけるダイズの過湿障害(5)

誌名	日本作物學會紀事
ISSN	00111848
著者	杉本, 秀樹 佐藤, 亨
巻/号	62巻1号
掲載ページ	p. 47-52
発行年月	1993年3月

水田転換畑におけるダイズの過湿障害

第5報 窒素追肥による湿害の軽減*

杉本 秀樹・佐藤 亨

(愛媛大学農学部)

1992年4月30日受理

要旨:本研究は、窒素追肥がダイズにおける過湿障害の軽減に有効か否かを知るために行った。まず、水田転換畑でダイズ品種タマホマレを栽培し、花芽分化期に畦間に5~8 cmの深さに水を溜めて8~11日間過湿処理を行い、過湿処理終了後に硫酸を窒素成分で12 gm⁻²追肥した。過湿・無追肥区における子実収量は無過湿・無追肥区に対して20%低下したが、窒素追肥を行った過湿・追肥区では、6%の低下に留まった。これは、莢数減少の度合いが軽減されたことに起因した。次に、窒素追肥によって莢数減少の度合いが軽減されるメカニズムについて調べた。水田土壌を充填したポットにタマホマレを栽培し、花芽分化期に地下水位が5~7 cmとなるようにポットを水槽につけた湿潤区、地上水位が2~3 cmとなるようにした湛水区、ならびに適宜灌水した適湿区を設け、7日間の過湿処理終了後に、各区のポットの半数に硫酸をポット当り5 g追肥した。湿潤・無追肥区と湛水・無追肥区では、葉身窒素含有率の減少が光合成速度の顕著な低下を招いたが、窒素追肥をした湿潤・追肥区と湛水・追肥区では、全窒素同化量が増大し、葉身窒素含有率が上昇して光合成速度が増大した。光合成速度の増大(光合成産物の増大)は、花器脱落の抑制をもたらし、その結果莢数減少の度合いが軽減されたものと考えられた。以上のように、花芽分化期に過湿処理をしたダイズに窒素追肥を行ったところ、子実収量の減少が軽減されたが、これは光合成速度増大による花器脱落の抑制に起因したと考えられた。

キーワード:花器脱落, 光合成速度, 子実収量, 湿害, ダイズ, 窒素固定, 窒素追肥。

Excess Moisture Injury of Soybeans Cultivated in an Upland Field Converted from Paddy V. Supplemental nitrogen application as a countermeasure against excess moisture injury: Hideki SUGIMOTO and Tooru SATOU (College of Agriculture, Ehime University, Tarumi, Matsuyama, Ehime 790, Japan)

Abstract: The purpose of this experiment was to examine whether the application of nitrogen (N) fertilizer as ammonium sulfate is an effective countermeasure against excess moisture injury of soybeans [*Glycine max* (L.) Merr.]. Soybeans (cv. Tamahomare) were grown in an upland field converted from paddy. Flooding treatment was conducted in furrows to a depth of 5 to 8 cm for 8~11 days at flower-bud differentiation stage and subsequently fertilizer was applied at the rate of 12 g N per m². In the flooding plot without supplemental N, seed yield decreased by 20%; however, in the flooding plot with supplemental N, seed yield decreased only by 6%, since the decreases in pod number were low. The reasons for the low reduction in pod number were examined in a pot-cultured experiment. Plants under excessive soil moisture and without supplemental N had low N content in the leaf blade which brought about a marked decrease in the photosynthetic rate. In contrast, supplemental N increased the N content in the leaf blade and photosynthetic rate. It was assumed that the increased photosynthetic rate by supplemental N inhibited bud, flower and pod shedding.

Key words: Excess moisture injury, Flower shedding, Nitrogen fixation, Photosynthetic rate, Pod shedding, Seed yield, Soybean, Supplemental nitrogen.

ダイズは、過湿状態が長引くと地下部からの窒素供給量が著しく減少する結果、体内窒素が不足して乾物生産ならびに子実収量の低下をきたすことを著者らは明らかにした^{17,18)}。そして、体内窒素の不足を補うことを目的として実施した尿素の葉面散布が、過湿によって引き起こされた子実収量低下の軽減に有効であることを実証した¹⁹⁾。本研究においては、麦類で過湿障害の軽減に有効であるとされている窒素

追肥が²⁴⁾、ダイズにおいても有効か否かについて検討を行った。

本研究は、圃場実験とポット実験から構成される。圃場実験においては、過湿処理後の窒素追肥が子実収量に及ぼす影響について検討した。その結果、窒素追肥によって子実収量の低下が軽減されることがわかったので、そのメカニズムを明らかにするためにポット実験を行った。

* 大要は、第192回講演会(1991年11月)において発表。本研究の一部は、文部省科学研究費補助金によった。

材料と方法

1. 圃場実験

圃場実験は、愛媛大学農学部内の水田転換畑で(松山市、沖積植壤土、全窒素含有率0.15%、全炭素含有率1.40%)、1987年と1988年(転換2および3年目)に実施した。供試品種はタマホマレで、播種期、過湿処理期間、開花始および追肥時期を第1表に示した。なお、過湿処理期間は花芽分化期に当たる。供試材料の栽培は以下のとおりであった。栽植様式は、畦間75 cm、株間20 cmの1株2本立てとし(13.3個体 m^{-2})、基肥として耕起前に苦土石灰を100 gm^{-2} 、また播種前に窒素(硫酸)、リン酸(過リン酸石灰)、カリ(硫酸カリ)を成分量でそれぞれ1,6,6 gm^{-2} 全面に施した。畦の高さを約10 cmとし、その他の栽培管理は当地域の慣行に従った。

処理区の構成は、無過湿・無追肥区、無過湿・追肥区、過湿・無追肥区および過湿・追肥区の4処理区で、過湿処理は、畦間に5~8 cmの深さに水が停滞するように水道水を掛け流すことによって行った。また、追肥区では過湿処理終了後5~6日目に、硫酸を株元の土壌表層に窒素成分量で12 gm^{-2} 施用した。1区当たりの面積は約40 m^2 で、反復は設けなかった。子実収量の調査は、両年とも1区当たり30~40個体を対象に行い、莢数、一莢粒数および百粒重を測定した。

2. ポット実験

水田土壌を充填したポット(径20 cm、深さ21 cm)に、1990年7月4日に品種タマホマレの種子を

3粒播種し、第1葉展開後に間引いて、1本仕立てとした。圃場実験と同時期の花芽分化期に過湿処理を7日間行い、過湿処理終了日に硫酸をポット当たり5 g追肥した。処理区の構成は適湿・無追肥区、適湿・追肥区、湿潤・無追肥区、湿潤・追肥区、湛水・無追肥区および湛水・追肥区の6処理区で(以下、各処理区をそれぞれC, CN, W, WN, F, FN区と略記する)、適湿区は土壌が乾燥しないように適宜灌水し、湿潤区は地下水位が5~7 cmとなるようにポットを水槽につけ(圃場実験の過湿処理に相当)、湛水区は地上水位が2~3 cmとなるようにポットに水を溜めた。

光合成速度、窒素固定量、器官別乾物重および窒素含有率の測定を過湿処理終了日、追肥10日後および21日後に、各区とも4個体について実施した。光合成速度の測定は個体を用いて通気法により行った。同化箱は50×40×50 cm(高さ)の大きさの亚克力樹脂製で、これに子葉節以上の地上部全体を挿入した。測定条件は、気温 $31 \pm 2^{\circ}C$ 、同化箱中心付近の光強度約70 Kluxとした。温度制御は同化箱内のラジエーターに定温の水を流すことにより行い、光源には陽光ランプを用いて、同化箱の上と横から照射した。また、同化箱への導入空気は露点温度 $19 \pm 0.2^{\circ}C$ に制御し、ファンで同化箱内の空気を攪拌した。窒素固定量の測定はアセチレン還元法によった。すなわち、土壌を水で洗い落としした根系を10%アセチレンと90%空気を含む約2 Lのデシケーター内で、 $30^{\circ}C$ で反応させ、60分後に発生したエチレンをガスクロマトグラフィーで定量し、窒素固定量とした。全窒素の定量はNCアナライザー(住友化学工業、NC-80)で行い、乾物重は $85^{\circ}C$ で48時間以上乾燥して求めた。

収穫は11月5日に行い、莢数、一莢粒数、百粒重ならびに茎の諸形質の調査を、各区6個体について実施した。

第1表 播種期、開花始および処理時期(月/日)。(圃場実験)

年度	播種期	過湿期間	開花始	追肥時期
1987	7/6	7/29~8/6	8/10	8/12
1988	7/11	8/1~8/12	8/13	8/17

第2表 収量および収量構成要素に及ぼす窒素追肥の影響(圃場実験)。

処理区	子実収量($g m^{-2}$)		莢数(m^{-2})		一莢粒数(pod^{-1})		百粒重(g)	
	1987	1988	1987	1988	1987	1988	1987	1988
	無過湿・無追肥	484(100)	515(100)	965	997	1.65	1.71	30.4
無過湿・追肥	506(105)	516(100)	1015	996	1.65	1.71	30.2	30.3
過湿・無追肥	399(82)	401(78)	760	765	1.75	1.74	30.0	30.1
過湿・追肥	472(98)	469(91)	881	872	1.75	1.73	30.6	31.1

カッコ内の数値は無過湿・無追肥区に対する割合(%)。

第3表 収量および収量構成要素に及ぼす窒素追肥の影響(ポット実験).

処理区	子実収量 (g plant ⁻¹)	莢数 (plant ⁻¹)	一莢粒数 (pod ⁻¹)	百粒重 (g)
C	44.47 (100)	98.67	1.70	26.51
CN	45.44 (102)	101.00	1.71	26.31
W	35.63 (80)	76.00	1.77	26.49
WN	43.04 (97)	92.25	1.77	26.36
F	23.60 (53)	53.38	1.73	26.56
FN	31.21 (70)	68.75	1.70	26.70
		F 値		
土壌過湿処理	114.92**	126.91**	1.66NS	0.26NS
窒素追肥	32.18**	31.52**	0.02NS	0.49NS
過湿×窒素追肥	5.31**	9.25**	0.24NS	1.31NS
LSD(0.05)	3.31	6.99	0.11	1.16

** : 1%の危険率で有意差あり. NS : 有意差なし.

カッコ内の数値は過湿・無追肥区に対する割合 (%) .

C : 過湿・無追肥, CN : 過湿・追肥, W : 過湿・無追肥, WN : 過湿・追肥,

F : 過湿・無追肥, FN : 過湿・追肥.

第4表 収穫時における茎の諸形質に及ぼす窒素追肥の影響(ポット実験).

処理区	主茎長 (cm)	一次分枝数 (plant ⁻¹)	茎重 (g plant ⁻¹)	総節数 (plant ⁻¹)	節当莢数 (pod ⁻¹)
C	46.00	5.11	9.26	42.56	2.32
CN	46.00	5.63	9.36	41.75	2.42
W	48.00	4.75	7.80	36.63	2.07
WN	45.63	4.75	8.36	36.38	2.54
F	48.00	3.75	6.50	37.88	1.41
FN	46.63	4.38	8.25	38.75	1.77
		F 値			
土壌過湿処理	0.69NS	10.68**	30.22**	18.61**	52.21**
窒素追肥	2.58NS	2.61NS	15.15**	0.01NS	23.92**
過湿×窒素追肥	0.78NS	0.68NS	5.71**	0.39NS	2.90NS
LSD(0.05)	2.69	0.80	0.53	2.65	0.20

** : 1%の危険率で有意差あり. NS : 有意差なし. 処理区の符号は第3表と同じ.

結 果

1. 圃場実験

無過湿・無追肥区における子実収量は、両年平均で 500 gm⁻²であったが、過湿・無追肥区では 400 gm⁻²となり、20% 減収した(第2表). 減収は莢数の減少に起因した. 窒素追肥を行った過湿・追肥区では、子実収量は両年平均で 471 gm⁻²と、6%の減収に留まったが、これは莢数減少の度合いが軽減されたことに起因した. 一方、無過湿区に窒素追肥を行っても子実収量はほとんど変わらなかった.

2. ポット実験

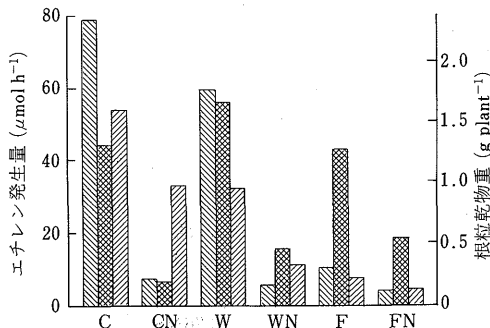
(1) 収量および収量構成要素

ポット実験における収量および収量構成要素に及

ぼす過湿処理ならびに窒素追肥の影響は、圃場実験の結果とほぼ同様の傾向であった(第3表). すなわち、W区とF区では莢数が減少することにより子実収量が低下したが、窒素追肥をしたWN区とFN区では莢数減少の度合いが軽減され、子実収量の低下が緩和された. なかでも、WN区の莢数はC区と有意差がなく、その結果子実収量はC区とほぼ等しくなった. 一方、CN区では追肥効果はみられなかった. なお、一莢粒数と百粒重は、圃場実験においてもポット実験においても、過湿処理および窒素追肥の影響はみられなかった.

(2) 収穫時における茎の諸形質

第4表には、収穫時における茎の諸形質を示した. 莢数は総節数と節当たり莢数の積で示されるが、W



第1図 窒素固定量と根粒重に及ぼす窒素追肥の影響 (追肥10日後)。(ポット実験)

処理区の符号は第3表と同じ。

▨: 個体当たりエチレン発生量 ($\mu\text{mol plant}^{-1} \text{h}^{-1}$)

▩: 根粒乾物重1g当たりエチレン発生量 ($\mu\text{mol g}^{-1} \text{h}^{-1}$)

▧: 根粒乾物重 (g plant^{-1})

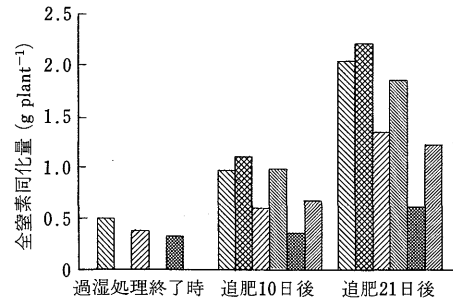
区とF区で莢数が減少したのは両者の減少に起因し、WN区とFN区で莢数減少の度合いが軽減されたのは節当たり莢数が多くなったことによる。また、窒素追肥をしても主茎長や一次分枝数は変わらなかったのに、茎重だけが增加したことより、茎の成長に対する窒素追肥の効果は、伸長成長を促す方向ではなく、肥大成長を促す方向に作用したことがわかる。

(3) 窒素代謝

マメ科作物であるダイズは、土壌に含まれる化態窒素(土壌および肥料窒素)を根によって吸収するだけでなく、根粒との共生により空気中の窒素を固定する。一般に、ダイズに窒素肥料を施すと根粒乾物重1g当たりの窒素固定量と根粒重が減少することが知られているが^{3,23)}、過湿処理後に行う窒素追肥の影響はどうだろうか。

いずれの土壤水分条件下においても、追肥区で個体当たりの窒素固定量は激減したが、これは根粒乾物重1g当たりの窒素固定量ならびに根粒重の減少に起因した(第1図)。これに対して、全窒素同化量(根粒による窒素固定量と根による窒素吸収量の和)はいずれの場合も追肥区で増大した(第2図)。つまり、窒素追肥をすると根粒による窒素固定量は激減するが、それ以上に根による窒素吸収量が増大する結果、個体当たりの全窒素同化量が増大することがわかった。

また、同化器官である葉身の窒素含有率は、いずれの場合も追肥により上昇した(第3図)。なかでも、



第2図 窒素集積量に及ぼす窒素追肥の影響。(ポット実験)

処理区の符号は第3表と同じ。

▨: C, ▩: CN, ▧: W, ▦: WN, ▥: F, ▤: FN.

WN区とFN区の追肥10日後(過湿処理終了10日後)で追肥効果が顕著であった。

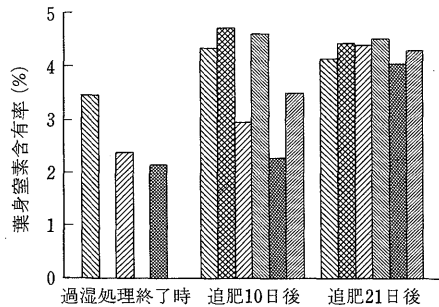
(4) 光合成速度

過湿処理終了時には、W区とF区の光合成速度は著しく低下した(第4図)。そこで、これに窒素追肥をしたところ、CN区ではその効果は見られなかったが、WN区とFN区では追肥10日後において光合成速度は顕著に増大した。しかし、追肥21日後になると、その効果はほとんどみられなくなった。このように、追肥10日後(開花盛期～結莢始に当たる)にWN区とFN区で光合成速度に対して追肥効果があったのは、両区における顕著な葉身窒素含有率の増加に起因したと考えられる。

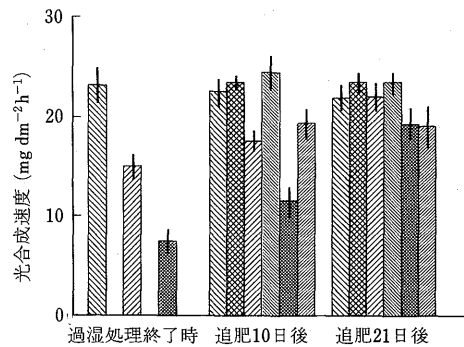
考 察

圃場実験においても、ポット実験においても、尿素の葉面散布を行った場合¹⁹⁾と同様に、過湿処理後の窒素追肥によって子実収量の低下が緩和された。これは、莢数減少の度合いが軽減されたことに起因したが、このメカニズムについてポット実験の結果をもとに考察したい。

過湿処理後の窒素追肥によって莢数減少の度合いが軽減される(無追肥区よりも追肥区の方が莢数が多い)のは、①総節数が増加する場合、②分化花芽数が増加する場合、③花器脱落(落蕾、落花、落莢)が減少する場合が考えられる。第4表より、追肥区において総節数は増加しなかったが、節当たり莢数が多くなったことから、追肥区で莢数減少の度合いが軽減されたのは、上記①の場合ではなく、②または③の場合といえる。しかるに、本実験において追肥効果が顕著に現れたのは追肥10日後前後(第3, 4図)、すなわち開花盛期～結莢始に当たっており、こ



第3図 葉身窒素含有率に及ぼす窒素追肥の影響。(ポット実験)
処理区の符号は第3表と同じ。
□: C, ⊗: CN, ⊚: W, ⊞: WN, ⊛: F, ⊜: FN.



第4図 光合成速度に及ぼす窒素追肥の影響。(ポット実験)
光合成速度は個体全体で測定し、葉面積で除して求めた。処理区の符号は第3表と同じ。図中の棒線は標準誤差。
□: C, ⊗: CN, ⊚: W, ⊞: WN, ⊛: F, ⊜: FN.

の時期に分化花芽数が著しく増加することは考えにくく、さらに、この時期は花器脱落が最も多発する時期⁹⁾と符合する。それゆえ、追肥区で莢数減少の割合が軽減されたのは上記③の場合、すなわち、花器脱落が抑制されたことが主要な原因と推察される。

なお、WN区で総節数が減少したのに莢数にC区と有意差がなかったのは節当たり莢数がC区より大であったことに起因するが、これはWN区の花器脱落がC区よりもむしろ少なかったことによるものと推察される。

次に、窒素追肥によって花器脱落が抑制されるメカニズムについて考察したい。ダイズにおける花器脱落の生理的要因として①光合成産物の供給不足^{1,2,7,8,15,16)}、②光形態形成的要因^{4,11)}、③ホルモンの要因^{6,20)}が考えられている。湿害発生後の窒素追肥によって②および③が影響されることは考えにくく、窒素追肥による花器脱落の抑制は①が主要な原因と思われる。その理由は以下のとおりである。過湿処理終了時におけるW区とF区では、個体当たり窒素同化が著しく抑制され、その結果葉身窒素含有率が減少して、光合成速度が顕著に低下した。これに窒素追肥を行ったところ、根粒による窒素固定量は激減したが、それ以上に根による窒素吸収量が増大したために個体当たりの全窒素同化量が増加し、その結果葉身窒素含有率が上昇して、光合成速度が増大した。この窒素追肥による光合成速度の増大、その結果もたらされる光合成産物の供給増は、上述したように開花盛期～結莢始にかけての花器脱落が最も多発する時期に当たっており、これによって、窒素追肥は花器脱落の抑制に効果があったものと推察される。

以上のように、花芽分化期に過湿処理をしたダイズに窒素追肥をしたところ、子実収量の減少が緩和されたが、これは光合成速度増大によってもたらされる花器脱落の抑制に起因したと推察された。

ところで、近年開花期以降の窒素追肥が広く試みられるようになってきたが^{5,10,12,13,14,22)}、渡辺は²¹⁾窒素追肥効果を左右する主要因の一つに供試土壌の肥沃度をあげており、子実収量が400 gm⁻²以上であれば追肥効果が認められなくなることを指摘した。本実験においては、子実収量が500 gm⁻²であった無過湿区では追肥効果がみられなかったが、400 gm⁻²の過湿区では追肥効果がみられた。つまり、水田転換畑のような収量水準の高い圃場においても、花芽分化期に湿害を受けた場合は窒素追肥により子実収量の回復が可能であることが明らかになった。

謝辞: 本実験を行うに当たって、協力いただいた本学学生吉田美智子君に感謝します。

引用文献

1. Brun, W.A. and K.J. Betts 1984. Source/sink relations of abscising and nonabscising soybean flowers. *Plant Physiol.* 75: 187-191.
2. Hardman, L.L. and W.A. Brun 1971. Effect of atmospheric carbon dioxide enrichment at deferent developmental stages on growth and yield components of soybeans. *Crop Sci.* 11: 886-888.
3. Hashimoto, K. 1976. 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.

4. Heindl, J.C. and W.A. Brun 1983. Light and shade effects on abscission and ^{14}C -Photoassimilate partitioning among reproductive structures in soybean. *Plant Physiol.* 73: 434—439.
5. 星 忍・石塚潤爾・仁紫宏保 1978. 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 112: 13—54.
6. Huff, A. and C.D. Dybing 1980. Factors affecting shedding of flowers in soybean (*Glycin max* (L.) Merrill). *J. Exp. Bot.* 31: 751—762.
7. 石塚潤爾 1972. 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.
8. Johnston, T.J., J.W. Pendleton, D.B. Peters and D.R. Hicks 1969. Influence of supplemental light on apparent photosynthesis, yield, and yield components of soybeans (*Glycine max* L.). *Crop Sci.* 9: 577—581.
9. 加藤一郎 1964. 大豆における脱落花器及び不稔実粒の組織学的並びに発生的研究. 東海近畿農業試験場報告 11: 1—52.
10. Lawn, R.J. and W.A. Brun 1974. Symbiotic nitrogen fixation in soybeans. III. Effect of supplemental nitrogen and intervarietal grafting. *Crop Sci.* 14: 22—25.
11. Myers, R.L., W.A. Brun and M.L. Brenner 1987. Effect of raceme-localized supplemental light on soybean reproductive abscission. *Crop Sci.* 27: 273—277.
12. 中野 寛・桑原真人・渡辺 巖・田淵公清・長野間宏・東 孝行・平田 豊 1987. 大豆の窒素追肥技術. 第2報 施肥量と施肥位置の効果. 日作紀 56: 329—336.
13. ———・渡辺 巖・田淵公清 1988. ———. 第3報 窒素追肥が窒素固定に及ぼす効果. 日作紀 58: 192—197.
14. ———・桑原真人・田淵公清 1989. ———. 第4報 土壤条件が追肥効果に及ぼす影響. 日作紀 58: 331—336.
15. Schou, J.B., D.L. Jeffers and J.G. Streeter 1978. Effects of reflectors, black boards, or shades applied at different stages of plant development on yield of soybeans. *Crop Sci.* 18: 29—34.
16. Singh, M., D.B. Peters and J.W. Pendleton 1968. Net and spectral radiation in soybean canopies. *Agron. J.* 60: 542—545.
17. 杉本秀樹・雨宮 昭・佐藤 亨・竹之内篤 1988. 水田転換畑におけるダイズの過湿障害. 第1報 土壤の過湿処理が乾物生産と子実収量に及ぼす影響. 日作紀 57: 71—76.
18. ———・————— 1988. ———. 第2報 土壤の過湿処理が出液, 気孔開度ならびに無機成分の吸収に及ぼす影響. 日作紀 57: 77—82.
19. ———・佐藤 亨・西原定昭・成松克史 1989. ———. 第3報 尿素の葉面散布による湿害の軽減. 日作紀 58: 605—610.
20. Tamas, I.A., D.H. Wallace, P.M. Ludford and J.L. Ozbun 1979. Effect of older fruits on abortion and abscisic acid concentration of younger fruits in *Phaseolus vulgaris* L.. *Plant Physiol.* 64: 620—622.
21. 渡辺 巖 1982. 大豆に窒素追肥は必要か—昭和54—56年各県農試成績概要から—. *農業技術* 37: 491—495.
22. ———・中野 寛・田淵公清 1983. 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.
23. Weber, C.R. 1966. Nodulating and nonnodulating soybean isolines: II. Response to applied nitrogen and modified soil conditions. *Agron. J.* 58: 46—49.
24. 吉野 喬・内田好哉・秋山 豊 1987. 麦の安定多収のための窒素追肥技術. 昭和61年度九州農試年報 38—40.