

ダイズ茎基部からの出液を用いた過湿による根系機能低下の評価

馬 啓林¹・山口武視^{2*}・中田 昇²・中野貴章²

田中朋之²・中野淳一²

¹鳥取大学大学院連合農学研究科・²鳥取大学農学部

要 旨: ダイズの湿害には根の活力低下が関与するため、根の活力把握が容易である茎基部からの出液を用いて過湿による根系機能低下の評価が可能かどうかを検討した。品種エンレイを用い、2002年と2003年にポットおよび圃場栽培し、播種後約1ヶ月目に12~18日の間で過湿処理を施した。過湿区の乾物重は対照区と有意な差はなかったが、葉身窒素含有率では過湿処理による明らかな低下が認められた。個体当たり出液速度は葉身窒素含有率よりも早く過湿処理に反応し、処理後6日目より低下が認められた。さらに出液中全窒素量では処理後2日目より低下が認められ、処理終了時まで常に過湿区が低く推移した。根粒由来の窒素吸収は過湿条件下では著しく抑制されたが、根粒由来窒素の多少に関わらず出液中全窒素量で養分吸収能の把握は可能であり、個体当たり出液速度および出液中全窒素量は過湿による根系機能の低下程度を評価する有用な指標となりうることを示唆された。

キーワード: 過湿、出液速度、ダイズ、窒素吸収能、根の活性

Evaluation of root activity by bleeding sap from the basal stem in soybean plants under excessive soil water: Qilin MA (*The United Graduate School of Agricultural Sciences*), Takeshi YAMAGUCHI, Noboru NAKATA, Takaaki NAKANO, Tomoyuki KATSUBE-TANAKA and Junichi NAKANO (*Faculty of Agriculture, Tottori University*)

Abstract: The objective of this study was to examine the possibility of evaluating root activity by bleeding sap from the basal stem in soybean plants under excessive soil water since the bleeding rate is concerned with the root activity. The soybean variety of Enrei was grown in pots and field in 2002 and in 2003. Excessive soil water treatments were conducted for 12 to 18 days about one month after sowing. The dry matter was not reduced but the nitrogen content of leaf was reduced in the excessive soil water treatment at the 5% or 1% significant level. The bleeding rate per plant was reduced after 6 days of treatment, and the response of the bleeding rate was earlier than that of the nitrogen content of leaf. The nitrogen content of bleeding sap was reduced after 2 days of treatment, and kept at a lower level than that of control throughout the treatment. We could have a correct understanding of the nutrition absorption by the total nitrogen content of bleeding sap regardless of the amount of nitrogen fixed by root-nodule bacteria, despite the nitrogen fixation was reduced by excessive soil water treatment. The results suggest that bleeding rate per plant and the nitrogen content of bleeding sap are useful to evaluate root activity of soybean plants under excessive soil water.

Keywords: bleeding sap, excessive soil water, nitrogen absorption, root activity, soybean [*Glycine max(L.) Merr.*]

日本の食糧自給率向上の鍵を握るダイズ作は畑よりも水田転換畑で行われる割合が多く、しばしば過湿障害が発生し、生育の不安定性や収量低下の大きな一因となっている。ダイズの根系は他の畑作物に比べ、酸素要求量が多く(阿江・仁紫, 1983), 比較的湿害を受けやすいと言われ(Khosravi and Anderson, 1990; Oosterhuis et al., 1990; Russell et al., 1990; Bacanamwo and Purcell, 1999), 特に生育初期には過湿に弱いこ

とが知られている(杉本ら, 1988a; 竹之内ら, 1993)。湿害は根圏の酸素不足で根の呼吸活性が低下し、これにより養分吸収、特に窒素吸収が抑制され、その結果として光合成量が低下する現象であり(福井ら, 1963; 茅野, 1982; Sallam and Scott, 1987; 杉本ら, 1988b), 福井(1956)は根の酸化力の強い品種が湿害に強いことを古くから見いだしている。

しかしながら、従来のダイズの湿害に関する

研究は生育、収量構成要素や体内成分の面から検討したものが多く(福井・伊藤, 1951; 浦野ら, 1958a; 浦野ら, 1958b; 昆野ら, 1964; 三好, 1973; 松川ら, 1983; 杉本ら, 1988a; 杉本ら, 1988b; Shimada et al., 1995), 根の生理的活性, 養分吸収能と湿害とを直接結びつけた研究は, 根に関する調査・測定手法の難しさゆえに少ない。

近年, 根の生理的活性を簡便に示す形質としての出液速度が注目されており, 水稻では山口ら(1995a)が出液速度と根の呼吸速度との間に高い正の相関関係のあることを認めている。筆者ら(馬ら, 2004)もダイズにおいて出液速度に関与する要因を検討し, 土壤水分などを一定にして測定すれば個体当たり出液速度には根重と根の呼吸速度が強く関与することを明らかにした。また, 出液中の無機成分で養分吸収能を評価しようとする試みも行われている(山口ら, 2001)。

そこで本実験では, 湿害の影響を強く受けやすい生育初期に過湿処理を施し, 乾物重や葉身窒素含有率の変化と出液速度および出液中窒素量の動態を調査することで, 出液を用いた過湿による根系機能低下の評価が可能であるかどうかを検討した。

材料と方法

鳥取県の奨励品種であり, 輪換畑での適性が高いダイズ品種エンレイを供試し, 2002年と2003年にポットおよび圃場条件で生育させた幼植物について過湿処理を施した。

ポット実験

2002年は, 容量約900mL(直径7.5cm×高さ20cm)のプラスチック円筒の下端を不織布で覆ったポットに黒ボク土をつめ, 8月20日にポット当たり2粒播種し, 無肥料で生育させた。播種後34日目にポットを3個の水槽(75cm×25cm×高さ20cm)に沈め, 土壤表面まで湛水して14日間過湿処理を施した。

2003年は1/5000aワグネルポットに前年と同じ黒ボク土を4kg充填し, 元肥として三要素を成分で各0.8gずつ化成肥料で施した。5月16日にポット当たり2粒播種し, 播種後28日目にすべてのポットを1つの水槽(150cm×90cm×高さ25cm)に沈め, 過湿処理を12日間施した。

両年とも処理期間中一定間隔で3ポットずつ茎基部からの出液速度, 地上部および地下部重を測定した。

圃場実験

2002年6月30日に鳥取大学農学部附属農場の畑圃場に8.3株/m²(20cm×60cm)の密度で1株2本立てとして生育させた(1区30m², 3反復)。施肥は播種前に苦土石灰を105g/m²施し, 三要素は施肥しなかった。播種後17日目と26日目に培土を行った。過湿処理は播種後29日目より毎朝夕に約50mm, 計100mm/日を畦間に灌水し, 15日間処理した。対照区はスプリンクラーを用いてほぼ毎日灌水した。

2003年は日本のダイズ作が水田転換畑で多いことを考慮して鳥取大学農学部附属農場の水田転換畑(180m²)で実験を行った。圃場をあらかじめ2区に分け, それぞれの周囲に深さ約45cmの溝を設置した。6月4日に33.3株/m²(20×15cm)の密度で播種し, 1株1本立てとして無肥料で生育させた(1区30m², 3反復)。播種後24日より18日間, 溝の水位が地表面下5~10cmになるように入水して過湿処理を施した。対照区は溝の水をポンプにより強制排水することで地下水位を40cmに保った。

両年とも処理終了日に各区より平均的な個体を2002年は2個体, 2003年は1個体それぞれ選抜し, それの茎基部からの出液を採取した。その後, 株を中心に約25cm×25cm×深さ25cmの土壤を根ごとシャベルで掘り出し, 流水で根を洗い出した。この際, 根粒の脱落が認められたので, 根粒はすべて除去した。

なお, ポットならびに圃場実験における処理時の葉齢や処理期間の気象条件を第1表にまとめて表示した。

第1表 栽培条件と過湿処理期間中の気象条件

栽培条件	年次	処理開始時		処理期間		
		播種後 日数	葉齢	日数	平均気温 ℃	日照時間 h
ポット	2002	34	4.5	14	20.3	79
ポット	2003	28	3.5	12	23.3	28
圃場	2002	29	4.0	15	28.8	128
圃場	2003	24	3.0	18	22.3	38

出液の採取法

出液速度には土壤水分が強く関与する(馬ら, 2004)ので, 土壤水分の影響を取り除いて測定する必要がある。ポット実験では出液採取の前日夕刻に対照, 処理ともに約3分間ポットを水中に沈めた後, ポットを引き上げて25℃の恒温器内に置き, 余剰水を除去した。翌日午前10時に地際より2~3cm部位を切断して脱脂綿を押し当て, 出液を1時間採取し, 測定前後の重量増分を出液量とした。

圃場実験では土壤含水比が40%以上となる

ように対照区も測定前日に灌水し、初生葉節部から約 2 cm 下部を切断して出液を 1 時間にわたって採取した。なお、出液速度は地温の影響を受ける (馬ら, 2004) ので、本実験では地温を測定したところ 21~28℃の範囲にあったので、温度係数を 2.0 として 25℃の値に補正した。

葉身および出液中窒素の定量

圃場およびポット実験とも脱脂綿より搾汁した出液は超低温フリーザーで保存し、出液中の全窒素をアルカリ性ペルオキシニ硫酸カリウム-紫外線吸光度法で測定した。また、2003 年は根粒活性の指標となる出液中ウレイド態窒素を Young-Conway 法 (蒲生, 1990) で定量した。

葉身の窒素含量は硫酸-過酸化水素法で湿式灰化後、インドフェノール法で定量した。

結 果

1. 過湿処理が乾物生産に及ぼす影響

第 2 表に過湿処理終了時の乾物重および光合成関連形質の葉身窒素含有率と葉面積を示した。地上部重および全重はいずれの実験も統計的有意差は認められなかったが、過湿区の方が対照区よりも小であった。根重もポット実験では過湿区の方が小で、2003 年では 1%水準で有意差が認められた。しかし、圃場実験における過湿区の根重は対照区とほぼ同じ値か過湿区の方が大きい傾向を示した。

第 2 表 過湿処理終了時の乾物重、葉身窒素含有率 (%) および葉面積

栽培条件	年次	処理	地上部重 g plant ⁻¹	根重 g plant ⁻¹	全重 g plant ⁻¹	葉身% %	葉面積 cm ² plant ⁻¹
ポット	2002	対照	4.98	0.40	5.39	2.37	413
		過湿	4.33 NS	0.35 NS	4.68 NS	1.17 **	355 NS
ポット	2003	対照	5.41	0.91	6.32	3.13	909
		過湿	5.39 NS	0.63 **	6.02 NS	1.35 **	643 **
圃場	2002	対照	24.93	0.85	25.78	4.09	-
		過湿	21.56 NS	1.10 NS	22.66 NS	3.67 *	-
圃場	2003	対照	4.38	0.25	4.63	2.26	643
		過湿	4.04 NS	0.24 NS	4.28 NS	1.34 *	336 NS

***: t検定により対照と処理間それぞれ1%, 5%で有意差があることを示す。NS:有意差なし。

一方、葉身窒素含有率はすべての実験で有意差が認められ、いずれの実験においても過湿区の値が小であった。葉面積も展葉速度が抑制されて過湿区の値が小さくなり、2003 年のポット実験では顕著な差が認められた。

2. 過湿処理が出液速度および出液中窒素量に及ぼす影響

処理終了時の個体当たり出液速度および出液中の全窒素とウレイド態窒素の濃度 (mM) と量 (ug plant⁻¹ h⁻¹) を第 3 表に示した。個体当たり出液速度は、2002 年の圃場実験を除いて過湿区で小さく、有意差が認められた。なお、2002 年

の圃場実験では個体当たり出液速度に過湿区と対照区の間で差は認められなかったが、個体当たり出液速度を根重で除した根重あたり出液速度は過湿区の方が小であった (データ省略)。

第 3 表 過湿処理終了時の個体当たり出液速度、出液中全窒素量およびウレイド態窒素量

栽培条件	年次	処理	出液速度	出液中全窒素		出液中ウレイド態窒素	
			g plant ⁻¹ h ⁻¹	mM	ug plant ⁻¹ h ⁻¹	mM	ug plant ⁻¹ h ⁻¹
ポット	2002	対照	0.22	14.1	44	-	-
		過湿	0.08 **	3.1 **	4 **	-	-
ポット	2003	対照	0.56	46.4	375	0.4	3
		過湿	0.25 **	40.8 NS	142 **	0.6 NS	2 NS
圃場	2002	対照	0.74	21.3	224	-	-
		過湿	0.76 NS	17.1 *	181 NS	-	-
圃場	2003	対照	0.64	11.5	103	8.5	66
		過湿	0.23 **	7.5 *	29 **	4.5 **	22 **

***: t検定により対照と処理間それぞれ1%, 5%で有意差があることを示す。NS:有意差なし。

出液中の全窒素は濃度および量ともに過湿区の値が小さく、過湿区の窒素吸収が抑制されていた。根粒活性を示すウレイド態窒素は、ポット実験では根粒の着生が少ないためにほとんど認められず、出液中全窒素の大部分は根自身が吸収した窒素であった。逆に圃場実験では、全窒素量に対する根粒由来窒素の比率は対照区 64%、過湿区 76%と見積もられ (第 3 表)、根粒由来窒素の占める比率は高いが、過湿処理による吸収抑制は根および根粒由来の両者ともに認められた。

3. 過湿処理による葉身窒素、出液速度および出液中全窒素量の推移

葉身窒素含有率は第 2 表でいずれの実験でも過湿処理により有意な低下が認められたが、これの経時的変化を 2003 年のポット実験について第 1 図に示した。過湿区の葉身窒素含有率は、処理後 6 日目までは対照区と大差がなく、9 日目以降から明らかな低下が認められた。

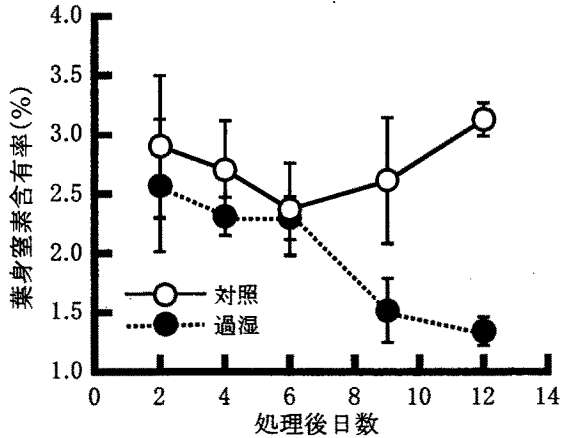
次に個体当たり出液速度の経時的変化を第 2 図でみると、過湿区の葉身窒素含有率よりも早く処理後 6 日目で明らかな低下が認められ、9 日目以降は著しく低下した。一方、第 3 図に示した出液中全窒素濃度は処理後 2 日目から 6 日目までは過湿区の方が明らかに低く推移したが、9 日目以降になると過湿区の窒素濃度が上昇し、対照区と明確な差が認められなくなった。個体当たり出液速度と出液中全窒素濃度をかけ合わせて求めた出液中全窒素量は、処理後 2 日目より対照区と過湿区とで差が認められ、過湿区は処理期間を通して常に低い値で推移した (第 4 図)。

考 察

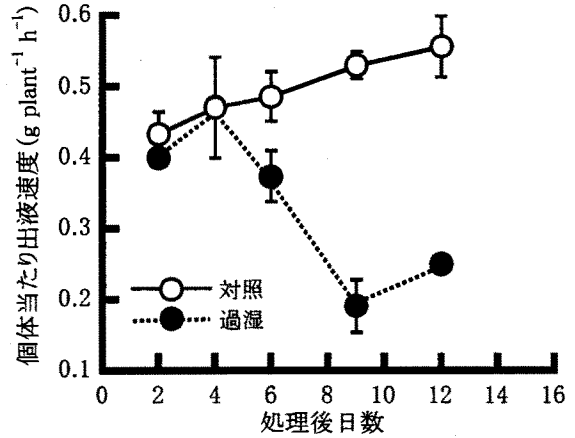
ダイズにおける湿害は、根圏の酸素不足により養分吸収、特に窒素吸収が著しく抑制され (Sallam and Scott, 1987; 杉本ら, 1988b), これに伴って光合成速度が低下し、乾物増加が抑制されるという経過が一般的である。本実験は播種後約1ヶ月目に12~18日間の過湿処理を施したのであるが(第1表), この処理期間内では明らかな乾物重低下は認められなかった(第2表)。しかしながら、ポットおよび圃場実験ともに過湿処理の葉身窒素含有率には明らかな低下が認められ(第2表), 個体当たり出液速度および出液中窒素量も同様に低い値であった(第3表)。出液は切断面より溢泌する導管液であるが, その量が根の呼吸活性と密接な関係にあること (山口ら, 1995a; 馬ら, 2004), 出液中無機成分量が養分吸収能を示す可能性のあること (山口ら, 2001) が報告されている。本実験でも,

過湿条件下におかれたダイズは葉身窒素含有率が低下することが示され, また根の生理的活性の低下を示唆していた。

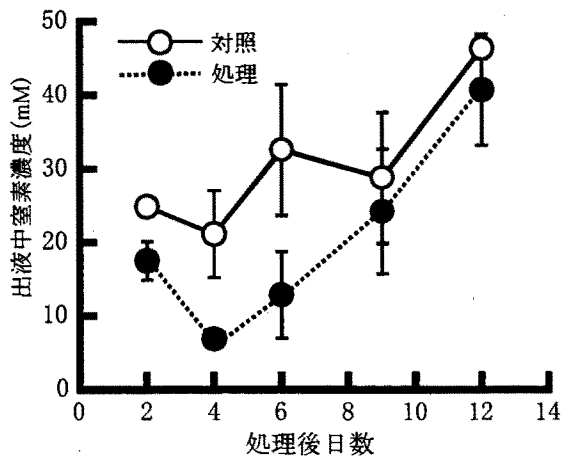
この葉身窒素含有率と根の生理的活性ならびに養分吸収能との関係を経時的変化で検討すると, 過湿処理による葉身窒素含有率の低下は9日目より見られたのに対し(第1図), 個体当たり出液速度の低下はそれよりも早く処理後6日目で認められている(第2図)。さらに, 出液中全窒素量では処理後2日目より差が認められている(第4図)。このことは, 個体当たり出液速度および出液中窒素量に代表される根の生理的活性の低下が葉身窒素含有率の低下を招いた主因であることを裏付けるものである。また, 個体当たり出液速度および出液中全窒素量は葉身窒素含有率よりも過湿処理の影響に敏感に反応していることもわかり, 両者は過湿による根系機能の低下程度を評価する場合に有用な調査形



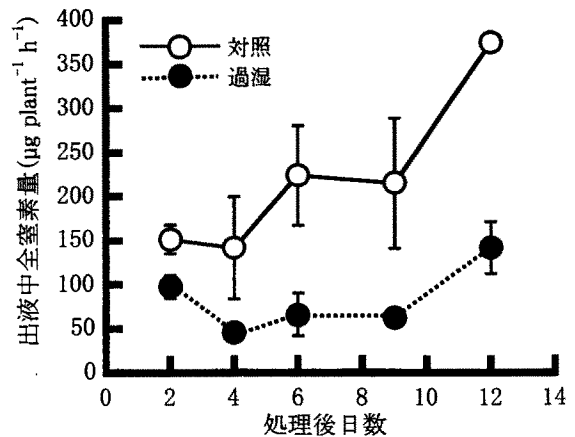
第1図 過湿処理による葉身窒素含有率の変化 (2003年ポット実験) 棒線は標準偏差を示す (n=3)



第2図 過湿処理による個体当たり出液速度の変化 (2003年ポット実験) 棒線は標準偏差を示す (n=3)



第3図 過湿処理による出液中全窒素濃度の変化 (2003年ポット実験) 棒線は標準偏差を示す (n=3)



第4図 過湿処理による出液中全窒素量の変化 (2003年ポット実験) 棒線は標準偏差を示す (n=3)

質であることが示唆された。

次に、出液中の窒素成分に着目した過湿による根系機能の低下程度の評価についてであるが、出液中の物質濃度により根の養分吸収能を評価することについては批判的な意見もある (Beever and Woolhouse, 1973; Bradford and Yang, 1980; Neuman and Stein, 1984). その主な理由は、出液中の溶質濃度は蒸散により変動するため不安定であり、高くあるいは低く評価してしまう可能性があるとの指摘である (Jackson, 1993; Else et al., 1994). 本実験では、出液中全窒素濃度は2日目には過湿区が低い値となっていたが、その後過湿区の出液中窒素濃度は上昇し、対照区と差が認められなくなった (第3図). Shimamura et al. (2002) も過湿処理を3週間処理した結果、2次通気組織の発達した品種は出液速度の低下が認められるものの、出液中の窒素濃度に変化がなかったと報告している. 一方、2002年のポット実験や2002、2003年の圃場実験では処理終了時の出液中全窒素濃度は過湿区と対照区に有意な差が認められている (第3表). これらのことより、出液中の窒素濃度だけを用いて過湿による根系機能の低下程度を評価することは難しいといえよう.

水稻においては出液中のケイ酸含量 (ケイ酸濃度×出液量) と根の呼吸速度との間に正の相関関係を山口ら (1995b) は認めており、出液中窒素量 (窒素濃度×出液量) と葉身窒素含有率が比例関係にあることも報告されている (山口ら, 2001). そこで出液中全窒素濃度と出液速度をかけ合わせて出液中全窒素量を求めると、過湿区の出液中全窒素量は処理期間を通して低く推移しており (第4図)、葉身窒素含有率の低下ともよく一致している (第2表). したがって、出液中の無機成分を分析して過湿による根系機能の低下程度を評価するとき、出液中の成分濃度で検討するのではなく、これに出液速度をかけ合わせて出液中成分量として検討する必要があるといえる.

また、ダイズの窒素代謝では、植物体だけでなく共生関係にある根粒菌の働きも重要である. したがって過湿条件下における窒素吸収抑制には、根自身の窒素吸収阻害と根粒の窒素固定阻害の両方が考えられる. この根粒由来の窒素は出液中ウレイド態窒素を測定することで見積もることができ (蒲生, 1990)、ここにも過湿による根系機能の低下程度の評価に出液を用いる利点がある. 本実験においては、2003年のポット実験では根粒由来の窒素がほとんどなく、圃場実験では根粒活性の大小が窒素低下に大きく関

わっていた (第3表). 根粒活性は過湿処理に敏感に反応するとの報告もあるが (Bacanawo and Purcell, 1999), 根粒の着生は生育時期や土壌環境によっても異なることが予想される. このように栽培条件によっても根粒着生に差があることがこれまで過湿による根系機能の低下程度の評価を困難にしていた一要因でもあろう. しかし、根粒着生の多少に関わらず出液中全窒素を測定すれば地上部に供給されと考えられる窒素量を推定することが可能であり、出液中全窒素量は過湿による根系機能の低下程度を評価する有用な指標となりうるものと推察された.

さらに本実験で興味深い点は、ポットと圃場とではダイズの反応が異なることである. ポット実験では2002年は容積約900mL、2003年は1/5000a (容積4000mL) と根域の制限程度に差をつけて過湿による根系機能低下の影響をみたのであるが、両年とも停滞水中にポットを沈めたために植物体にとってきびしい処理となり、根重、葉身窒素含有率および個体当たり出液速度のいずれも顕著に低下した (第2, 3表). 一方、圃場条件下では通常の畑圃場および田畑輪換圃場ともに、過湿処理により葉身窒素含有率に低下がみられるものの、根重の減少は認められなかった. 特に、2002年の圃場実験のように日照時間が多い (第1表) 場合は、根への乾物分配を増大させて、根重当たり出液速度の低下を根重の増大で補償し、個体当たり出液速度を維持しようとする適応反応が認められた (第2, 3表). すなわち、個体当たり出液速度は2002年の圃場実験にみられるような不良環境への適応反応をも反映した調査形質であるとの見方も可能である. また、同じ品種でもポットと圃場とでは過湿処理に対する反応が異なるので、ダイズの過湿による根系機能の低下程度を検討するには栽培条件に注意を払う必要がある点も指摘しておきたい.

以上のことより、ダイズ幼植物を対象とした過湿による根系機能の低下の評価に出液を用いることは有用であるといえる.

引用文献

- 阿江教治・仁紫宏保 1983. ダイズ根系の酸素要求特性および水田転換畑における意義. 土肥誌 54: 453-459
- Bacanawo, M. and L.C. Purcell 1999. Soybean dry matter and N accumulation response to flooding stress, N sources and hypoxia. J. Exp. Bot. 50: 689-696.
- Beever, J. and H.W. Woolhouse 1973. Increased

- cytokinin from root system of *Perilla frutescens* and flower and fruit development. *Nature* 46:31-32.
- Bradford, K.J. and S.F. Yang 1980. Xylem transport of 1-aminocyclopropane-1-carboxylic acid, and ethylene precursor in waterlogged plants. *Plant Physiol.* 65:322-326.
- Else, M.A., W.J. Davies, P.N. Whitford, K.C. Hall and M.B. Jackson 1994. Concentration of abscisic acid and other solutes in xylem sap from root system of tomato and castor-oil plants are affected by the method of sap collection. *J. Exp. Bot.* 45:317-323.
- 福井重郎 1956. 大豆品種の土壌生態型に関する研究 1. 根の酸化力の品種間差異. *育種* 6: 88-90
- 福井重郎・伊藤隆二 1951. 生育時期を異にした短期過湿処理が大豆の生育収量に及ぼす影響について. *日作紀* 20: 271-273.
- 福井重郎・松本重男・昆野昭晨 1963. 土壌水分並びに施肥条件が大豆の溢泌液に及ぼす影響. *日作紀* 31: 327-333.
- 蒲生卓磨 1990. 生物窒素固定研究における最近の成果 [21] 木部樹液成分の分析による窒素固定量の評価(2). *農及園* 65: 318-320.
- Jackson M.B. 1993. Are plant hormones involved in root to shoot communication? *Adv. Bot. Res.* 19: 103-187.
- 茅野充男 1982. 無機栄養—生育阻害要因—. 田中明編. *作物比較栄養生理*. 学会出版センター, 97-99.
- Khosravi, Gh.R. and L.C. Anderson. 1990. Pre-emergence flooding and nitrogen atmosphere effects on germinating corn inbreds. *Agron. J.* 82: 495-499.
- 昆野昭晨・福井重郎・小島睦男 1964. 土壌水分が大豆の体内成分ならびに結莢に及ぼす影響. *農技研報* D11:111-149.
- 馬啓林・山口武視・中田昇・田中朋之・中野淳一 2004. ダイズ幼植物における茎基部からの出液速度に関する要因. *日作紀* 73: 431-435.
- 松川勲・谷村吉光・寺西了・番場宏治 1983. 大豆の耐湿性に関する研究—湛水条件下における品種間差異—. *北海道立農試集報* 49: 32-40.
- 三好洋 1973. 水田及び水田転換畑の地下水位と湿害対策—1. 水田及び転換畑の地下水位の変動—. *農業技術* 28: 293-296.
- Neumann, P.M. and Z. Stein 1984. Relative rates of delivery of xylem solute to shoot tissues: possible relationship to sequential leaf senescence. *Physiol. Plant* 62: 390-397.
- Oosterhuis D.M., H.D. Scott, R. E. Hampton and S.D. Wulschleger 1990. Physiological responses of two soybean [*Glycine max* (L.) Merr.] cultivars to short-term flooding. *Environ. Exp. Bot.* 30:85-92.
- Russell D.A., D.M.L. Wong and M.M. Sachs 1990. The anaerobic response of soybean. *Plant Physiol.* 92: 401-407.
- Sallam, A. and H.D. Scott 1987. Effects of prolonged flooding on soybean at the R2 growth stage: I. Dry matter and N and P accumulation. *J. Plant Nutr.* 10: 567-592.
- Shimada, S., M. Kokubun and S. Matsui 1995. Effects of water table on physiological traits and yield of soybean (I) Effects of water table and rain fall on leaf chlorophyll content, root growth and yield. *Jpn. J. Crop Sci.* 64: 294-303.
- Shimamura S., T. Mochizuki, Y. Nada and M. Fukuyama 2002. Secondary aerenchyma formation and its relation to nitrogen fixation in root nodules of soybean plants (*Glycine max*) grown under flooded conditions. *Plant Prod.Sci.* 5:294-300.
- 杉本秀樹・雨宮昭・佐藤亮・竹之内篤 1988a. 水田転換畑におけるダイズの過湿障害 第1報 土壌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.
- 杉本秀樹・雨宮昭・佐藤亮・竹之内篤 1988b. 水田転換畑におけるダイズの過湿障害 第2報 土壌の過湿処理が出液, 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.
- 竹之内篤・芝田英明・岩城篤哉 1993. 転換畑大豆の生育・収量に及ぼす降水の影響. *愛媛県農試研報* 32: 29-34.
- 浦野啓司・長瀬嘉迪・小口忠彦 1958a. 生育時期別土壌水分の多少がダイズの生育・収量に及ぼす影響 第1報 生育・開花・結実および溢泌現象ならびに要水量に及ぼす影響. *日作紀* 27: 99-102.
- 浦野啓司・長瀬嘉迪・小口忠彦 1958b. 生育時期別土壌水分の多少がダイズの生育・収量に及ぼす影響 第2報 体内窒素・炭水化物の消長に及ぼす影響. *日作紀* 27: 315-318.
- 山口武視・津野幸人・中野淳一・真野玲子 1995a. 水稲の茎基部からの出液速度に関する要因の解析. *日作紀* 64: 703-708.
- 山口武視・津野幸人・中野淳一・真野玲子 1995b. 登熟期における水稲茎基部からの出液中のアンモニア態窒素濃度ならびに出液中の珪酸:カルシウム比と根の呼吸速度との関係. *日作紀* 64: 529-536.
- 山口武視・肝付いづみ・田中朋之・中野淳一 2001. 出液の無機成分分析による根の生理活性および養分吸収評価の試み. *日作紀* 70(別1):206-207.