

湛水条件下においてダイズの胚軸に形成される二次 通気組織量の品種間差異

島村, 聡
九州大学大学院・農学研究院

望月, 俊宏
九州大学農学部附属農場

福山, 正隆
九州大学大学院・農学研究院

<https://doi.org/10.15017/14317>

出版情報：九州大学農学部農場研究報告. 10, pp.13-18, 2001-09-03. 九州大学農学部附属農場
バージョン：
権利関係：

湛水条件下においてダイズの胚軸に形成される二次通気組織量の品種間差異

島村 聡*・望月俊宏・福山正隆*

九州大学農学部附属農場

*九州大学大学院・農学研究院

要約 湛水ストレスに対して適応性の高いダイズ品種を検索する目的で、ダイズ30品種を供試し、胚軸における二次通気組織の形成量と畑および湛水条件下での生育を調査した。水田土壌を充填したポットに播種し、初生葉展開時から適宜灌水して栽培する畑区および土壌表面まで湛水する湛水区の2処理区を設定し、処理開始後18日目に材料の採取を行った。その結果、湛水区における30品種平均の全乾物重および地上部、地下部別乾物重は畑区に比べていずれも小さく、湛水ストレスによって生育が抑制されたことが明らかであった。T/R比は湛水区で大きく、特に低酸素の影響を直接受ける地下部の抑制程度が大きかった。耐湿性程度(乾物重比=湛水区全乾物重/畑区全乾物重×100)は、最大はアソアオガリの101.26%、最小はトヨムスメの76.93%であったが、5%水準で品種間には有意差が認められず、品種間差異を検出するためには処理期間を長期に設定し、比較集団を大きくするなどの必要があると考えられた。一方、胚軸における二次通気組織の形成量はいずれの品種においても畑区に比べて湛水区で著しく大きく、品種間に有意差が認められたことから、育種的手法により二次通気組織の形成量の大きい品種育成の可能性が示唆された。また、本実験に供試した品種の中で、耐湿性程度が最も高かったアソアオガリは二次通気組織の形成量も極めて大きいことから、耐湿性の強いダイズを育成する上で有望な品種であると考えられた。

九大農場研究報告, 10:13-18, 2001

緒言

米の生産過剰に伴い、生産調整対策および食料自給率向上を目的として水田転換畑でのダイズの作付が推進されたことなどから、我が国におけるダイズの作付面積は水田転換畑が普通畑を上回っている(農林水産省大臣官房調査室, 1999)。本来、水田は水稻を作付することを目的とした圃場であることから、水田転換畑は普通畑に比べて地下水位が高いことが多く、周囲の水田からの漏水などによって、過湿になりやすい(石川ら, 1970; 橋本, 1978; 幸田, 1982)。従ってこのような水田転換畑で畑作物のダイズを栽培するときには湿害対策が必要である。

湛水ストレスに対する植物の形態的適応反応の一つとして、通気組織の形成が知られている(Crawford and Braendle, 1996)。多くの湿生植物では、湛水面上の器官から取り込まれた酸素が、茎や根に発達した細胞間隙を通して湛水面下の組織に供給されていると考えられている(Smirnoff and Crawford, 1983; Justin and Armstrong, 1987; Jackson and Armstrong, 1999)。一方、一般に陸生植物は細胞間隙の発達程度が小さく、地下部へ酸素を供給することが容易でないため、耐湿性が弱いとされているが、細胞間隙が良く発達し、耐湿性の強い種のあることも知られている(Laan *et al.*, 1989)。マメ科植物のセスパニア(*Sesbania rostrata* Brem. et Oberm.) (有門, 1996)、*Viminaria juncea* (Schr. et Wendl.) Hoffmanns. (Walker *et al.*, 1983) およびツルマメ(*Glycine soja* Sieb. et Zucc.) (Arikado, 1954) には、湛水面近傍の茎や胚軸に多量の

空気を含む細胞間隙に富んだ二次通気組織の発達することが報告されており、望月ら(2000)によれば、ダイズの胚軸における二次通気組織の形成量は他の夏作マメ科作物に比べて大きく、耐湿性程度と密接な関係があるという。

そこで本研究では、湛水ストレスに対して適応性の高いダイズ品種を検索する目的で、ダイズ30品種を畑および湛水条件下で栽培し、胚軸に形成される二次通気組織の形成量と生育との関係について調査した。

材料と方法

ダイズ30品種を供試し、1999年5月中旬から8月中旬にかけて九州大学農学部附属農場のビニルハウス内で実験を行った。直径7cm、高さ12cmで底に直径1cmの孔のあるポットを用い、風乾して網目5mmの篩を通した水田土壌(無肥料)を高さ10cmまで充填した。十分灌水した後、各品種当たり12ポット、1ポット当たり3粒播種し、2cmの覆土を行った。出芽後間引いて1ポット1本立てとし、その後適宜灌水を行って栽培した。初生葉展開時に各品種6ポットづつの2群に分け、1群は適宜灌水を行う畑条件(畑区)、他の1群はポットの土壌表面と水位が一致するようにした湛水条件(湛水区)とした。処理開始後18日目に、土壌を洗い流して植物体を採取した。その後土壌表面から上下に5mmづつ、計10mmの胚軸を採取し、プラント・ミクロトーム(MTH-1: 日本医科器械製作所製)を用いて厚さ200 μ mの横断切片を1個体当たり約40

切片作成した。その中から3切片を無作為に選び、実体顕微鏡下で画像を解像度72dpi以上、対象物が300ピクセル以上に表示されるサイズでパソコン (Power Macintosh G3) に取り込み、内部形態の観察を行った。取り込んだ画像はNIH Imageを用いて中心柱および二次通気組織の面積を測定し、各個体の中心柱に対する二次通気組織の面積比 [(二次通気組織の面積/中心柱の面積) × 100] を算出した。その後各切片を回収して植物体と合わせ、80℃で48時間風乾後、乾物重を測定し、T/R (地上部乾物重/地下部乾物重) 比と乾物重比 [(湛水区の乾物重/畑区の乾物重) × 100] を算出した。なお、いずれの実験についても2~3反復を行った。実験期間中のハウス内の日平均気温は22.2℃~31.5℃であった。

結果と考察

第1表には供試した30品種平均の個体当たり全乾物重、地上部、地下部別乾物重およびT/R比の値を処理区別に示した。全乾物重は畑および湛水区でそれぞれ2.50gおよび2.19g (湛水区/畑区比:0.88) で、処理間には1%水準で有意差が認められた。地上部、地下部別にみると、地上部では畑および湛水区でそれぞれ1.85gおよび1.65g (同:0.89)、地下部では0.66gおよび0.54g (同:0.82) であり、それぞれ1%水準で処理間に有意差が認められた。また、T/R比は畑区2.80、湛水区3.09で、処理間に1%水準で有意差が認められたことから、湛水処理によって植物の生育が抑制され、特に低酸素の影響を直接受ける地下部への影響が大きいことが明らかであった。各品種の耐湿性程度を示すと考えられる乾物重比をみると、最大はアソアオガリの101.26%、最小はトヨムスメの76.93%までの変異があったが (第2表)、分散分析の結果、品種間には有意差は認められなかった (第3表)。本実験は、処理期間が18日間と短期間であったため、品種間で生育差を見出すには困難な栽培条件であったかもしれない。また供試品種も少ないことから、耐湿性程度の品種間差異を明らかにするためには、比較集団を大きくし、処理期間を長くするなどの工夫が必要と考えられる。

土壌表面近傍の胚軸横断面を観察した結果、供試した全ての品種において二次通気組織の形成が認められた (第4表)。この組織は中心柱外縁に形成された後生分裂組織から分化し、白色でスポンジ状を呈する粒子状の細

胞群からなっており、多量の細胞間隙が認められる (第1図)。第4表によれば、供試した30品種平均の二次通気組織の形成量は畑区で0.66mm²、湛水区で6.80mm²であり、湛水処理により二次通気組織の形成が促進されたことは明らかであった。胚軸の太さは品種間で異なるため、中心柱の面積を各品種の胚軸の太さを表す指標とし、これに対する二次通気組織の面積比を算出した。その結果、湛水区ではアソアオガリが136.03%と最も大きく、次いで黒千石の121.88%の順で、最も小さかったのは新4号の23.37%で、品種間には1%水準で有意差が認められた。生育量 (乾物重比) の場合と異なり、二次通気組織の形成程度は短期間の湛水処理によっても品種間で異なることが明らかであった (第5表)。耐湿性の強いマメ科作物・種では二次通気組織の形成程度が大きいことが報告されている (望月ら, 2000) が、湛水区における各品種の二次通気組織の面積比と乾物重比との間には、有意な相関関係 ($r=0.264$) は認められなかった。前述したように、本実験条件下では乾物重比には有意な品種間差異が認められず、二次通気組織の形成量にのみ認められたことから、両者の関係を明らかにするためには、さらに生育段階を追って調査する必要があると思われる。また、耐湿性に関与する要因には、通気組織の発達などの形態的要因の他に生理的要因、すなわち地下部の低酸素環境に対する植物の代謝率や代謝経路の変化および土壌中の有害還元物質に対する適応性などが知られており (Crawford and Braendle, 1996)、これらについても検討する必要があるかもしれない。

ところで、本実験においてダイズには二次通気組織の形成程度に品種間差異のあることが明らかになったが、これは湛水条件下で二次通気組織を発現させる遺伝子に変異のあることを示しており、育種的手法により二次通気組織の形成程度を高めた品種育成の可能性を示唆している。マメ科作物では二次通気組織の形成量と耐湿性程度には有意な正の相関関係があること (望月ら, 2000)、マメ科植物の中には湛水条件下で形成された二次通気組織を通して、空気中の窒素が根粒へ供給され、窒素固定に利用されている種のあることが明らかにされており (Walker *et al.*, 1983; Saraswati *et al.*, 1992)、二次通気組織の形成を支配する遺伝子は湛水ストレス遺伝子資源として検討する価値があると思われる。なお、本実験に供試した品種の中では、アソアオガリの乾物重比が

第1表 湛水処理がダイズの生育に及ぼす影響。

処理区	全乾物重 (g/個体)	地上部乾物重 (g/個体)	地下部乾物重 (g/個体)	T/R比
畑区	2.50 ± 0.52	1.85 ± 0.40	0.66 ± 0.13	2.80 ± 0.25
湛水区	2.19 ± 0.41 **	1.65 ± 0.32 **	0.54 ± 0.10 **	3.09 ± 0.30 **

数値は30品種平均値±標準偏差 (n=30) を示す。

** : t検定によりそれぞれ1%水準で処理区間に有意差のあることを示す。

第2表 湛水処理が各品種の全乾物重および乾物重比に及ぼす影響.

品種	全乾物重 (g/個体)		乾物重比 (%)
	畑区	湛水区	
アキシロメ	2.65 ± 0.25	2.37 ± 0.42	88.93 ± 9.01
アキセンゴク	2.30 ± 0.34	2.07 ± 0.38	89.67 ± 4.75
アキヨシ	2.44 ± 0.29	2.14 ± 0.20	88.21 ± 4.82
アソアオガリ	1.75 ± 0.15	1.77 ± 0.14	101.26 ± 0.89
エンレイ	2.50 ± 0.08	2.26 ± 0.06	90.75 ± 5.27
ゴガク	2.83 ± 0.83	2.47 ± 0.52	90.46 ± 13.42
コサマメ	1.87 ± 0.23	1.63 ± 0.22	87.15 ± 4.66
タマホマレ	2.60 ± 0.37	2.41 ± 0.12	93.76 ± 8.44
トヨムスメ	2.81 ± 0.47	2.14 ± 0.27	76.93 ± 4.54
ヒメシラズ	1.49 ± 0.34	1.28 ± 0.23	87.37 ± 12.34
ヒュウガ	2.71 ± 0.42	2.37 ± 0.13	89.38 ± 12.92
フクユタカ	2.89 ± 0.51	2.67 ± 0.11	94.49 ± 12.62
ミスズダイズ	2.73 ± 0.37	2.42 ± 0.12	89.78 ± 8.48
ライデン	2.51 ± 0.34	2.02 ± 0.39	79.62 ± 6.37
黄色秋大豆	2.68 ± 0.44	2.41 ± 0.63	88.83 ± 8.86
玉造	2.63 ± 0.60	2.36 ± 0.27	92.00 ± 10.91
銀白	2.84 ± 0.48	2.38 ± 0.05	85.69 ± 11.87
黒千石	1.85 ± 0.37	1.68 ± 0.01	94.41 ± 16.92
砂丘青豆	1.86 ± 0.32	1.74 ± 0.19	94.84 ± 8.35
新4号	2.38 ± 0.37	2.28 ± 0.04	98.22 ± 15.02
青地	1.90 ± 0.45	1.72 ± 0.17	93.99 ± 13.85
雪転	2.86 ± 0.37	2.32 ± 0.10	82.18 ± 7.25
丹波黒	3.87 ± 0.44	3.17 ± 0.14	82.56 ± 6.44
中鉄砲	3.25 ± 0.66	2.81 ± 0.20	88.80 ± 12.12
長品浸豆	2.80 ± 0.49	2.30 ± 0.09	83.80 ± 11.14
納豆小粒	1.68 ± 0.32	1.64 ± 0.39	97.30 ± 9.96
白大豆	3.10 ± 0.28	2.74 ± 0.21	88.69 ± 6.97
白眉	1.92 ± 0.29	1.60 ± 0.09	85.04 ± 14.17
姫大豆	2.51 ± 0.53	2.31 ± 0.26	94.72 ± 14.39
鈴成2	2.79 ± 0.60	2.30 ± 0.40	83.12 ± 5.63

数値は平均値±標準偏差 (n=3) を示す.

第3表 乾物重比の分散分析表.

要因	自由度	平方和	平均平方	F値
品種間	29	2716.52	93.67	0.60ns
誤差	60	9313.11	155.22	
全体	89	12029.63		

ns : 5%水準で有意差のないことを示す.

第4表 湛水処理が二次通気組織の形成に及ぼす影響.

品種	二次通気組織面積 (mm ²)		二次通気組織面積比 (%)	
	畑区	湛水区	畑区	湛水区
アキシロメ	0.49 ± 0.25	6.36 ± 0.93	4.41 ± 2.54	45.39 ± 7.30
アキセンゴク	0.51 ± 0.03	7.84 ± 0.02	4.18 ± 0.13	70.25 ± 3.61
アキヨシ	1.19 ± 0.46	8.31 ± 0.18	10.39 ± 3.39	69.30 ± 1.89
アソアオガリ	1.02 ± 0.33	12.12 ± 1.19	12.74 ± 4.51	136.03 ± 18.94
エンレイ	0.64 ± 0.25	4.15 ± 0.04	5.59 ± 1.30	35.78 ± 2.71
ゴガク	0.48 ± 0.12	4.79 ± 1.62	3.16 ± 0.44	30.37 ± 6.18
コサマメ	0.70 ± 0.42	4.25 ± 0.60	6.88 ± 3.47	42.61 ± 1.72
タマホマレ	0.23 ± 0.06	4.77 ± 1.18	1.57 ± 0.39	32.48 ± 6.05
トヨムスメ	0.17 ± 0.03	6.62 ± 0.90	1.47 ± 0.25	53.61 ± 5.31
ヒメシラズ	0.31 ± 0.04	4.63 ± 0.75	3.59 ± 0.22	63.05 ± 17.27
ヒュウガ	0.82 ± 0.17	5.61 ± 0.34	5.88 ± 1.16	35.91 ± 0.65
フクユタカ	0.77 ± 0.27	10.78 ± 3.44	5.37 ± 1.80	76.05 ± 23.28
ミスズダイズ	0.43 ± 0.01	9.91 ± 1.95	3.36 ± 0.23	71.72 ± 20.21
ライデン	0.29 ± 0.07	4.65 ± 0.29	2.48 ± 0.69	37.75 ± 2.97
黄色秋大豆	0.73 ± 0.29	6.97 ± 0.35	5.76 ± 1.87	53.64 ± 5.75
玉造	0.16 ± 0.06	4.54 ± 0.86	1.38 ± 0.49	37.22 ± 10.36
銀白	0.41 ± 0.24	4.99 ± 0.32	3.04 ± 1.63	39.82 ± 3.92
黒千石	1.06 ± 0.19	9.65 ± 0.45	14.06 ± 1.83	121.88 ± 0.53
砂丘青豆	0.28 ± 0.01	5.24 ± 0.69	3.01 ± 0.24	56.99 ± 13.57
新4号	0.79 ± 0.32	4.27 ± 1.43	5.11 ± 2.13	23.37 ± 5.62
青地	1.01 ± 0.22	4.10 ± 1.38	11.84 ± 1.92	48.83 ± 10.44
雪転	0.84 ± 0.27	5.20 ± 0.47	7.19 ± 1.96	40.43 ± 0.70
丹波黒	0.35 ± 0.11	13.12 ± 0.30	2.37 ± 0.82	86.03 ± 5.34
中铁砲	0.97 ± 0.28	11.52 ± 3.14	5.44 ± 1.37	65.80 ± 15.17
長品浸豆	0.92 ± 0.47	5.45 ± 1.62	6.33 ± 3.02	34.79 ± 5.75
納豆小粒	0.59 ± 0.34	5.40 ± 0.21	7.03 ± 3.72	65.03 ± 8.03
白大豆	0.59 ± 0.05	9.28 ± 1.29	4.77 ± 0.06	81.65 ± 22.54
白眉	0.41 ± 0.17	4.08 ± 0.23	3.60 ± 1.42	32.34 ± 5.13
姫大豆	1.47 ± 0.31	7.23 ± 0.41	11.23 ± 2.10	49.55 ± 2.41
鈴成2	1.15 ± 0.14	8.24 ± 1.70	9.70 ± 0.09	82.53 ± 17.81
平均	0.66	6.80 **	5.76	57.34 **

各品種の数値は平均値±標準偏差 (n=2) を示す.

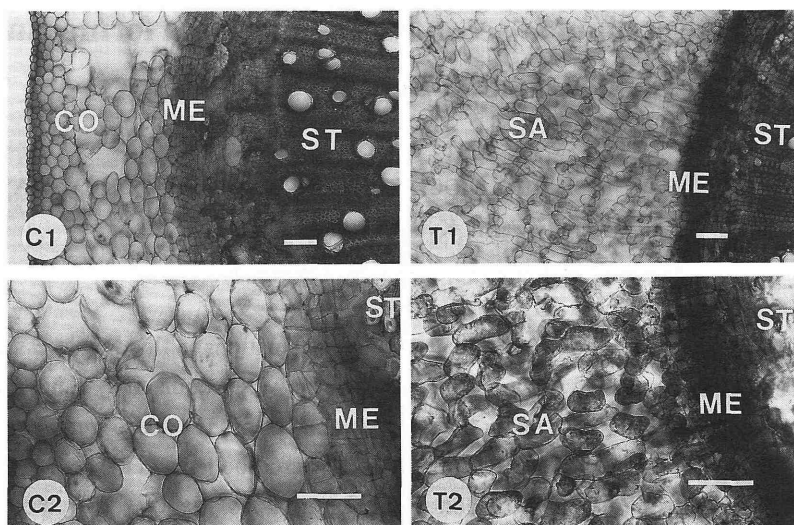
平均は30品種平均値 (n=30) を示す.

** : t検定により1%水準で処理区間に有意差のあることを示す.

第5表 湛水区における二次通気組織面積比の分散分析表.

要因	自由度	平方和	平均平方	F値
品種間	29	39792.32	1372.15	5.89**
誤差	30	6988.52	232.95	
全体	59	46780.84		

** : 1%水準で有意差のあることを示す.



第1図 土壌表面近傍におけるアソアオガリの胚軸の横断面。

C, 畑区; T, 湛水区。

C2, T2は拡大図。

SA, 二次通气組織; ME, 後生分裂組織; CO, 皮層; ST, 中心柱
図中の横棒は0.1mmを示す。

101.26%と最も大きく、湛水区における二次通气組織の形成程度も極めて高かったが、アソアオガリは子実収量を指標とした場合においても、湿害の影響を受けにくいとの報告(望月・松本, 1991)があり、耐湿性の強いダイズを育成する上で有望な品種であると考えられる。

引用文献

- 1) Arikado H., Different responses of soybean plants to an excess of water with special reference to anatomical observations. Proc. Crop Sci. Japan, 23:28 - 36, 1954.
- 2) 有門博樹, 湛水条件下でセスバニアの茎, 根に形成される第2次通气組織. 日作紀, 65 (別1): 162 - 163, 1996.
- 3) Crawford R. M. M. R. and R. Braendle, Oxygen deprivation stress in a changing environment. J. Exp. Bot., 47: 145 - 159, 1996.
- 4) 橋本鋼二, 水田大豆作の問題点 (1). 農業技術, 33: 103 - 107, 1978.
- 5) 石川昌男・酒井 一・石川 実・梶田貞義・小坪和男・黒沢 晃, 水田の畑転換における技術的問題と対策—水田の畑転換と土壌条件1—. 農業技術, 26: 151 - 156, 1970.
- 6) Jackson M. B. and W. Armstrong, Formation of aerenchyma and the processes of plant ventilation in relation to soil flooding and submergence. Plant Biol., 1:274 - 287, 1999.
- 7) Justin S. H. F. W. and W. Armstrong, The anatomical characteristics of roots and plant response to soil flooding. New Phytol., 106:465 - 495, 1987.
- 8) 幸田浩俊, 低湿地帯の田畑転換栽培と地力維持. 農及園, 57:1457 - 1462, 1982.
- 9) Laan P., M. J. Berrevoets, S. Lythe, W. Armstrong and C. W. P. M. Blom, Root morphology and aerenchyma formation as indicators of the flood-tolerance of *Rumex* species. J. Ecol., 77:693 - 703, 1989.
- 10) 望月俊宏・松本重男, 秋ダイズの耐湿性の品種間差異. 日作紀, 60:308 - 384, 1991.
- 11) 望月俊宏・高橋卯雪・島村 聡・福山正隆, 数種夏作マメ科作物の胚軸における二次通气組織の形成. 日作紀, 69:69 - 73, 2000.
- 12) 農林水産省大臣官房調査課, 農業白書附属統計表(平成10年度版). 農林統計協会, 東京. 69, 1999.
- 13) Saraswsti R., T. Matoh and J. Sekiya, Nitrogen fixation of *Sesbania rostrata*: Contribution of stem nodules to nitrogen acquisition. Soil Sci. Plant Nutr., 38:775 - 780, 1992.
- 14) Smirnof, N. and R. M. M. Crawford, Variation in structure and response to flooding of root aerenchyma in some wetland plants. Ann. Bot. 51:237 - 249, 1983.
- 15) Walker B. A., J. S. Pate and J. Kuo, Nitrogen fixation by nodulated roots of *Viminaria juncea* (Schrad. & Wendl.) Hoffmans. (Fabaceae) when submerged in water. Aust. J. Plant Physiol., 10:409 - 421, 1983.

Varietal difference of the amount of secondary aerenchyma formed in hypocotyl under flooded conditions in soybean plants

Satoshi SHIMAMURA*, Toshihiro MOCHIZUKI and Masataka FUKUYAMA*

University Farm, Kyushu University

*Faculty of Agriculture, Kyushu University

To select soybean cultivars with morphological and anatomical adaptations to flooding stress, the relationships between amount of secondary aerenchyma in hypocotyls and plant growth were examined by using the seedlings of 30 Japanese cultivars grown under flooded as well as under non-flooded conditions. The seeds were sown in paddy soil in plastic pots. When primary leaves were fully expanded, half of the pots were flooded and the water surface was kept as same as the soil level, and the rest was observed under non-flooded conditions. Plants were treated for 18 days. The total, top and root dry matter averages over 30 cultivars grown under flooding were lower than those grown under non-flooding. T/R ratio of flooded plants was higher than that of non-flooded ones. It seems that low O₂ environments in the rooting zone inhibited their root growth. Flood tolerance rating (dry matter ratio = dry matter under flooding / dry matter under non-flooding × 100) was the highest in cv."Aso aogari"(101.26%) and the lowest in cv."Toyomusume"(76.93%). But varietal difference in this rating was not significant at the 5% levels. It is suggested that identification of flood tolerant soybean cultivars may require selection for continued growth under flooding or using many comparative varieties. On the other hand, the amount of secondary aerenchyma in hypocotyl of 30 cultivars grown under flooded conditions was greater than that of non-flooding. Varietal difference of the ratio of secondary aerenchyma area to stele area under flooding was significantly different in cultivars. From these finding, it seems possible to breed the cultivar with high amount of secondary aerenchyma formation. Furthermore, cv."Aso aogari" was the highest in flood tolerance rating and the amount of secondary aerenchyma, so that this cultivar may be available for the breeding of flood tolerance.

Bulletin of the Kyushu University Farm, 10:13-18, 2001