

明渠と弾丸暗渠を活用した土壌水分管理が大豆の生産性に及ぼす影響

石塚明子*・荒木雅登・大野礼成¹⁾・岩渕哲也

水田転換畑において、大豆の湿害と乾燥害に対応するために、明渠と弾丸暗渠を連結して施工することによる排水効果と、乾燥時に明渠に入水を行う灌漑が、土壌水分と大豆の生育収量に与える影響を明らかにした。

60mm/日以上 of 降雨の場合でも、明渠と弾丸暗渠を連結して施工することで、無施工に比べ pF の最小値が高く、過湿が軽減されることが明らかとなった。また、乾燥時における灌漑により土壌 pF 値が低下したことから、乾燥害の軽減に有効な範囲に土壌水分を制御可能であった。

大豆の生産性は、生育期間の気象条件によって異なり、2017 年は排水対策効果により生育前半から生育量が確保でき、生育前半が極めて乾燥した 2018 年においては pF2.5 以上の乾燥時に複数回灌漑を行うことで、無施工に比べ節数が多く、整粒数が多く、百粒重が重くなり、収量が向上した。

[キーワード：大豆，弾丸暗渠，土壌水分，灌漑，明渠，pF]

Method of Soil Moisture Management Utilizing Open Ditches and Mole Drains for Soybean in Upland Fields Converted from Paddy Fields. ISHITSUKA Akiko, Masato ARAKI, Yukinari ONO and Tetsuya IWABUCHI (Fukuoka Agriculture and Forestry Research Center, Chikushino, Fukuoka 818-8549, Japan) *Bull. Fukuoka Agric. For. Res. Cent.* 10 : 1 - 6 (2024)

The drainage effect of connecting open ditches and mole drains in upland fields converted from paddy fields, and the drainage and irrigation effects of open ditches during dry weather on soil moisture and yield of soybean were examined. Using this method irrigation during dry conditions reduced soil pF values. Therefore, soil moisture could be controlled within the effective range for reducing drought damage. In the case of rainfall of 60 mm/day or more, the minimum value of pF was higher with the installation of connecting open ditches and mole drains than without. In 2017, the effect of drainage measures ensured growth volume from the first half of the growing season. In 2018, the first half of the growing season was extremely dry, and multiple irrigations during the dry period with a pF of 2.5 or higher resulted in a higher number of nodes, whole grains, heavier one-hundred-grain weights, and higher yields compared to no installation.

[Key words: irrigation, mole drains, open ditches, pF, soil moisture, soybean]

緒言

大豆は福岡県の土地利用型農業の基幹作物の1つで、作付面積は 8,250ha で全国 4 位である (農林水産省 2019)。また、福岡県産大豆の 10a 当たりの収量は 2002 年から 2012 年までの平均は台風による被害が甚大であった 2004 年を除き 191kg であったが、2013 年から 2022 年の平均は 138kg と低下している (農林水産省)。大豆の収量が低迷している要因としては、豪雨や記録的な高温といった気象変動の増加 (気象庁)、大豆の作付頻度の増加や有機物施用不足による土壌理化学性の悪化 (小田原ら 2012, 石塚ら 2016)、帰化アサガオをはじめとする難防除雑草による影響が挙げられる (住吉 2011)。また、福岡県の主要品種「フクユタカ」は、播種適期が 7 月 11 日から 20 日までと短く (内川ら 2003)、この時期が梅雨時期と重なるため、播種適期を逸し低収となるリスクが高い。さらに、福岡県内における大豆生産の多くは水田転換畑で実施されており、水稻栽培時に形成された鋤床層による排水不良や高い地下水位のため、湿害の発生が懸念されている。湿害の発生要因となる排水不良は播種作業に悪影響を及ぼすことに加えて、開花期以降の地上部・地下部乾物重が排水良好田に比べ抑制され稔実莢数が少なくなった報告

がある (古畑ら 2011)。この対策として、本暗渠や補助暗渠の施工により排水改善が行われている。また、本暗渠が施工されていない圃場では、深耕による透水性の改善 (岩渕・石塚 2017, 川崎・石田 1985) や明渠の施工による排水対策が行われている。

一方で、土壌が乾燥した場合には、生育量不足による子実数の減少、子実肥大の抑制、百粒重の低下により、収量が低下することが報告されている (内川・森田 2015)。生育期の乾燥対策としては、畦間灌水があげられる。灌水の目安としては、中耕培土後、土壌が白乾し始めた頃とされており、30mm/日程度の降雨後に 1 週間雨が降らない場合で (福岡県 2014)、pF 値では 2.5 以上とされている (浅生・松下 1988)。畦間灌水の効果としては、不定根の発生を促し、一莢粒数の増加と粒重の増大により収量が増加した報告 (竹之内・芝田 1992) がある一方、畦間灌水後の雑草の繁茂を懸念する報告もある (服部ら 2012)。

また、乾燥対策の一例として、排水性、地下灌漑機能を兼ね備えた地下水水位制御システム (以下、FOEAS) の導入が全国的に進み、地下水水位を生育時期に応じて制御することで大豆が増収した事例が報告されている (竹田・佐々木 2013, 南山・杉森 2009)。福岡県内でも FOEAS が導入されているが、本暗渠施工に加えて導入コ

*連絡責任者 (農産部 : ishitsuka-a4040@pref.fukuoka.lg.jp)

1) 現 福岡県朝倉農林事務所

ストがかかるため、一部地域に限られているのが実情である。

そこで、生産者が所有している機械装備を活用し、弾丸暗渠を明渠につなぐ形で施工することで、明渠から弾丸暗渠を通じた本暗渠への排出により排水を改善する新たな施工方法を考案した。一方、大豆の生育期間中に土壌の過乾燥が懸念される場合には、暗渠の栓を閉めた上で明渠に入水し、弾丸暗渠を経由した流路による地下灌漑も可能と考えられる。本研究では、これら明渠と弾丸暗渠を活用した土壌水分管理が、湿害対策や乾燥害対策としてどの程度有効な技術となり得るか検討するために、土壌水分と大豆の生育および収量に及ぼす影響について検討した。

材料および方法

1 試験場所の概要

明渠と弾丸暗渠施工による排水対策および乾燥時の灌漑処理が大豆の生産性に及ぼす影響を検証するため、福岡県農林業総合試験場筑後分場内圃場（三潞郡大木町）で、2017年と2018年の2ヵ年調査を行った。供試圃場の土壌条件は細粒灰色低地土・軽埴土に属する。

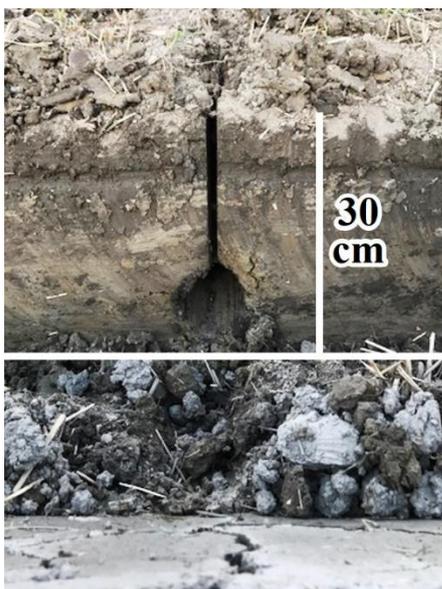
これに加えて、2018年は柳川市で現地実証試験を実施した。

なお、試験を実施した圃場は、全て本暗渠を施工している。

2 試験区の構成

(1) 場内試験

試験区の構成としては明渠と弾丸暗渠を施工し、灌漑を行う区を施工+灌漑区、明渠と弾丸暗渠を施工し灌漑を行わない区を施工区、明渠と弾丸暗渠は無施工で、灌漑を行わない区を無施工区とした。



第1図 明渠から弾丸暗渠の施工の断面の様子

1) 下の白線は明渠の底面を示す

2017年は長辺30m、短辺20mの圃場を畦塗機を用いて長辺の中央部分に畦を立てて2分割し、片側に明渠と弾丸暗渠を施工した区を設け、さらに2分割し、片側を灌漑する区を設けた。試験規模は施工+灌漑区68m²、施工区68m²、無施工区136m²とした。2018年は長辺33m、短辺30mの圃場で畦塗機を用い畦を立てて長辺を3分割し、施工+灌漑区、施工区、無施工区をそれぞれ300m²とした。いずれの試験区も1反復とした。

明渠施工は溝掘り機（松山株式会社製 Niplo RD252）にて実施した。圃場周囲に深度約30cmで、溝上部の幅は25cmで施工した。また、弾丸暗渠については振動式サブソイラ（松山株式会社製、弾丸部径80mm一連）にて第1図のように明渠の底辺を起点として、約3m間隔で本暗渠と直交方向に施工した（第2図）。

明渠と弾丸暗渠の施工は2017年が6月23日に、2018年は7月12日に行った。

灌漑は大豆の中耕培土後から開花期間に鋤床上（地表からの深さ約13~15cm）のpF値が2.5（浅生・松下1988）を超えた時に実施した。灌漑は、本暗渠の栓を閉め、明渠に入水し、弾丸暗渠を通して地下灌漑により行い（第2図）、灌漑終了後は暗渠の栓を開放した。

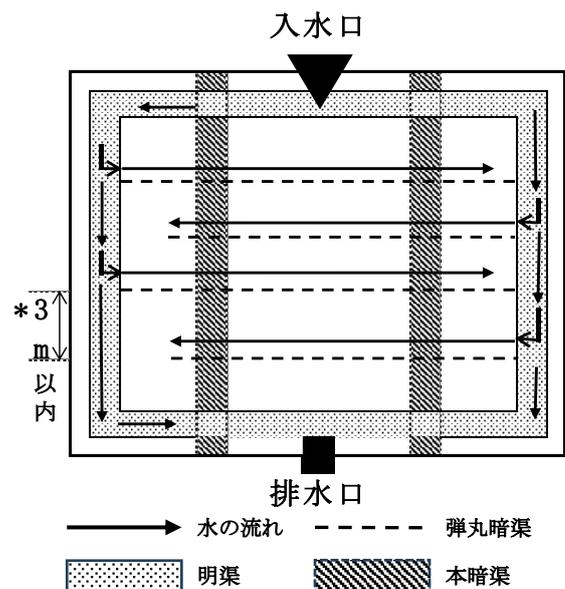
灌漑日は2017年は9月1日、4日、2018年は8月10日、20日、23日、30日とし、観察で圃場の中心部分の畝溝の土壌表面の色が変わり、湿潤状態を確認するまで入水し、灌漑を行った。

(2) 現地実証試験

現地実証圃場では隣接する2圃場を用い施工+灌漑区3,200m²、無施工区2,300m²の2区を設置した。いずれの試験区も1反復とした。

明渠と弾丸暗渠の施工は2018年7月9日に行った。

灌漑は、8月29日にpF値が2.8のときに18時から3時間とした。



第2図 明渠と弾丸暗渠施工と灌漑時の水の流れ模式図

1) ※は弾丸暗渠の間隔を示す

3 耕種概要

(1) 場内試験

大豆の供試品種は「フクユタカ」とし、施肥は行わなかった。

筑後分場内圃場における播種方法は、目皿式播種機を用い播種密度は条間 70cm、株間 15cm の 2 粒点播により行った。2017 年は 7 月 20 日に部分浅耕一工程（川村 2013）で播種し、2018 年は 7 月 18 日に事前耕起後に耕起同時播種を行う二工程で播種した。

中耕培土は大豆 3 葉期以降の 8 月上旬から 8 月下旬に、1 回もしくは 2 回実施した。

(2) 現地実証試験

大豆の供試品種は「フクユタカ」とし、施肥は行わなかった。

現地実証試験圃場では目皿式播種機を用い播種密度が条間 67cm、株間 30cm の 2 粒点播とし、播種日は 2018 年 7 月 12 日の二工程播種とした。

中耕培土は大豆 3 葉期以降の 8 月中旬に、1 回実施した。

4 調査方法

試験を実施した 2017 年および 2018 年の 2 ヶ年の大豆栽培期間中の気象データ（7 月下旬～10 月）は、久留米アメダス（福岡県久留米市で観測）の値を用いた。

大豆の生育、形態および収量調査は作物調査基準（日本作物学会九州支部会 2013）に基づいて行った。筑後分場内では 2017 年は灌漑前の 8 月 30 日、2018 年は 1 回目の灌漑後の 8 月 17 日、8 月 23 日、9 月 11 日に生育調査を行った。調査面積は、2017 年は 0.7m²、2018 年は 0.6m² とし、それぞれ 4 か所採取した。2018 年は部位ごとに乾物重を測定した。収穫は成熟期から 1 週間以内に実施し、筑後分場内圃場では 2017 年は 11 月 5 日、2018 年は 11 月 10 日に行い、現地実証圃場では 11 月 7 日に行った。筑後分場内圃場の採取面積は 1 畦×5m の 7m²、現地実証圃場では 1 畦×5m の 6.7m² とし、試験各区からそれぞれ 3～4 か所を採取した。また、調査株のうち 1 畦×4m を乾燥脱粒後、5.5mm 以上粒径の子実（水分 15%換算）をもって百粒重と子実重とし、1 畦×1m を主茎長、主茎節数を計測し、整粒数を算出した。大豆の検査等級は農産物検査規格に基づいて格付けした。

土壌水分の測定は、2018 年に筑後分場内圃場および現地実証試験圃場で行った。大豆の播種後に鋤床上（地表からの深さ 13～15cm）に pF センサー（Watermark 社 6450WD）を 1 区につき 1 か所設置し、kPa 値を経時的に測定するとともに、地表からの深さ 15cm の地温の測定も行った。kPa 値から pF 値への換算式は $\text{LOG}_{10}(\text{kPa 値}/(1 + (9/5 \times \text{地温}^{\circ}\text{C} + 32) - 70) / 100) \times 10.197$ を使用して算出した。

結果

1 大豆栽培期間中の隔年の気象概況

試験を実施した 2017 年および 2018 年の 2 ヶ年の梅雨明けと大豆栽培期間中の平均気温と降水量について、平年

第 1 表 試験期間における気象の平年値との比較

年次	梅雨明け （日）	7月下旬～8月		9月		10月	
		平均気温	降水量	平均気温	降水量	平均気温	降水量
		平年差 （℃）	平年比 （%）	平年差 （℃）	平年比 （%）	平年差 （℃）	平年比 （%）
2017	-6	+1.6	72	+0.2	141	+1.6	316
2018	-10	+2.7	33	+1.0	127	+0.5	57

- 1) 2017 年の梅雨明けは 7 月 13 日頃、2018 年は 7 月 9 日頃
- 2) 平均気温と降水量は福岡県久留米市のアメダスの値
- 3) 平年差および平年比は平年値（1981～2010 年の 30 年平均值）に対比したもの

差および平年比を第 1 表に示した。

梅雨明けは、2017 年が平年より 6 日早く 7 月 13 日頃で、2018 年が平年より 10 日早く 7 月 9 日頃であった（気象庁）。

2017 年は梅雨明け以降、7 月下旬から 8 月まで高温乾燥で経過し、9 月は降水量が平年比 141% と多雨、10 月も平年比 316% と極めて多雨となった。2018 年の 9 月までは 2017 年と同様の傾向で 7 月下旬から 8 月まで平均気温は平年より 2.7℃ と極めて高く、降水量は平年比 33% と極めて少なく高温乾燥で経過した。9 月の降水量は平年比 127% と多雨であり、10 月は平年比 57% と少雨で経過した。

2 排水対策および灌漑の有無が土壌水分に及ぼす影響

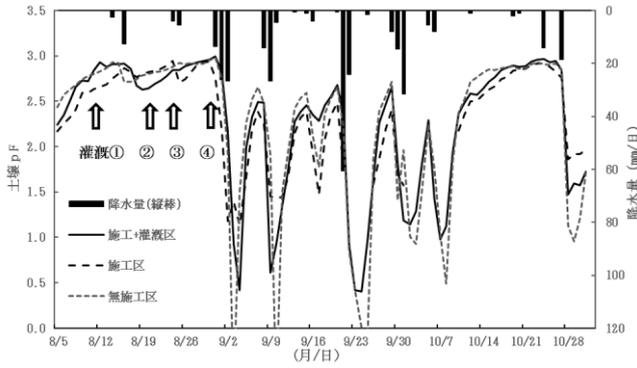
2018 年の筑後分場内における 8 月 2 半旬から 10 月の土壌 pF と日降水量の推移を第 3 図に、2018 年の現地実証試験における 8 月中旬から 9 月下旬の土壌 pF と日降水量の推移を第 4 図に示した。

筑後分場内では 4 回の灌漑前後で pF に明確な差はみられなかったが（第 3 図）、現地実証試験においては灌漑前の pF は 2.8 から 2.4 まで低下し、無施工区に比べ pF で 0.4 低かった（第 4 図）。

また、9 月 20、21 日の 60mm/日以上の降雨後の無施工区の土壌 pF は、筑後分場内では 0、現地実証においては 0.2 まで下がったが、施工+灌漑区の pF の最小値は筑後分場内では 0.4、現地実証試験では 0.9、さらに筑後分場内の施工区は 1.3 と高かった（第 3 図、第 4 図）。現地実証試験においては無施工区に比べ施工+灌漑区は速やかな pF の上昇がみられた（第 4 図）。

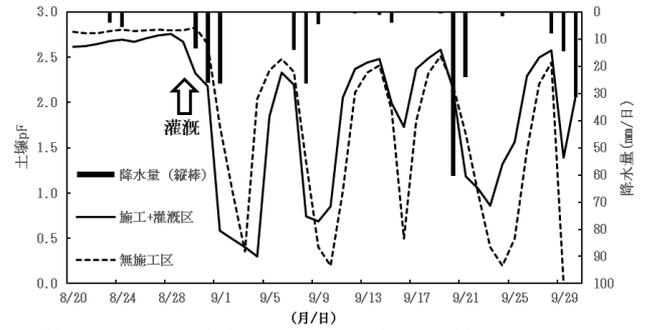
3 排水対策および灌漑の有無が大豆の生育、収量に及ぼす影響

実施した排水対策および灌漑の有無が灌漑前後の大豆の生育に及ぼす影響について第 2 表に示した。2017 年において灌漑前の時点で施工区は無施工区に比べ主茎長が長かった。2018 年は 1 回目の灌漑から 1 週間後の 8 月 17 日には試験区による生育の差は認められなかったが、2 回目の灌漑の 3 日後に当たる 8 月 23 日の施工+灌漑区の主茎長は無施工区に比べ長かった。また、9 月 11 日の調査においては施工+灌漑区は施工区および無施工区に比べ、主茎長が長く、節数、茎と根の乾物重は施工+灌漑区は無施工区に比べ節数が多く、乾物重は重かった。



第3図 8月2半旬から10月の土壌pFと日降水量の推移 (2018年：筑後分場)

- 1) 土壌 pF は筑後分場の値で kPa 値を1時間ごとに計測し、地温で補正した値を対数変換し、1日の平均値を示す
- 2) センサー設置はいずれも各区1か所
- 3) 降水量は福岡県久留米市のアメダスの値で1日の積算値
- 4) 矢印は灌漑の時期を示し、①8/10、②8/20、③8/23、④8/30に施工+灌漑区のみ明渠に入水を行った
- 5) 施工区は10/2から10/8は欠測



第4図 8月中旬から9月下旬の土壌pFと日降水量の推移 (2018年：柳川市)

- 1) 土壌 pF は柳川市の現地実証試験の値で kPa 値を1時間ごとに計測し、地温で補正した値を対数変換し、1日の平均値を示す
- 2) センサー設置はいずれも各区1か所
- 3) 降水量は福岡県久留米市のアメダスの値で1日の積算値
- 4) 矢印は灌漑の時期を示し、8/29の18時から3時間明渠に入水した

第2表 排水対策および灌漑の有無が灌漑前後の大豆の生育に及ぼす影響 (2017年, 2018年：筑後分場)

年次	生育調査日 (月・日)	試験区	主茎長 (cm)	節数 (節/本)	乾物重							
					葉 (g/m ²)	茎 (g/m ²)	莢 (g/m ²)	根 (g/m ²)				
2017	8.30 (灌漑前)	施工+灌漑区	56	13.8	—	—	—	—				
		施工区	56	13.8	—	—	—	—				
		無施工区	43	13.5	—	—	—	—				
		有意差	*	ns	—	—	—	—				
2018	8.17 (灌漑前)	施工+灌漑区	25	10.0	56.8	15.8	—	17.2				
		施工区	22	9.0	48.0	13.2	—	14.9				
		無施工区	23	9.3	49.3	13.6	—	14.7				
		有意差	ns	ns	ns	ns	—	ns				
2018	8.23 (灌漑前)	施工+灌漑区	39	a	13.9	127.2	34.3	—	25.9			
		施工区	35	ab	13.5	112.7	30.6	—	24.7			
		無施工区	35	b	13.0	119.5	30.1	—	24.7			
		有意差	*	ns	ns	ns	—	ns				
2018	9.11 (灌漑前)	施工+灌漑区	70	a	16.1	a	315.4	176.2	a	9.6	40.0	a
		施工区	62	b	15.3	ab	301.6	161.8	ab	7.9	32.6	ab
		無施工区	61	b	14.8	b	252.7	132.8	b	7.5	28.3	b
		有意差	*	*	ns	†	ns	*				

- 1) 2017年は9/1、9/4に、2018年は8/10、8/20、8/23、8/30に灌漑を行った
- 2) 調査地点数は4であり採取地点の面積は2017年は0.7m²で2018年は0.6m²であった
- 3) 2017年の生育調査日は灌漑前のため「施工+灌漑区」「施工区」同じ値となっている。
- 4) 2017年は無施工区と施工+灌漑区および施工区でt検定、2018年はTukeyの多重比較により異文字間に*、†はそれぞれ5、10%水準で有意差あり、nsは有意差なし

第3表 排水対策および灌漑の有無が大豆の生育および収量に及ぼす影響
(2017年, 2018年: 筑後分場)

年次 試験区	出芽本数 (本/m ²)	開花期 (月.日)	成熟期 (月.日)	主茎長 (cm)	主茎節数 (節)	整粒数 (粒/m ²)	百粒重 (g)	子実重 (kg/a)	検査等級
2017年									
施工+灌漑区	12.0	8.27	11.2	67 a	15.4 a	1,170 a	28.0 a	23.5 a	2.4
施工区	11.7	8.27	11.2	65 a	15.5 a	1,056 ab	27.5 ab	23.1 ab	2.0
無施工区	12.0	8.27	11.2	56 b	14.5 b	877 b	26.9 b	20.6 b	2.0
2018年									
施工+灌漑区	14.5	8.24	11.8	66 a	15.3 a	1,033 a	27.9 a	25.3 a	2.0
施工区	14.9	8.24	11.8	62 ab	14.7 a	911 ab	25.9 b	23.7 ab	2.0
無施工区	14.6	8.24	11.8	59 b	14.6 b	901 b	26.1 b	22.9 b	2.0
試験区	ns	—	—	**	**	†	*	*	—
年次	**	—	—	ns	ns	*	**	†	—
交互作用	ns	—	—	ns	ns	ns	ns	ns	—

- 1) 調査個体の採取は2017年は11月5日, 2018年は11月10日に行った
- 2) 収量比は無施工区の子実重を100とした値
- 3) 検査等級は大粒と中粒の平均値で1(1等上)~6(2等下)で示す
- 4) 分散分析により**, *, †はそれぞれ1, 5, 10%水準で有意差あり, nsは有意差なし
- 5) Tukeyの多重比較により異文字間に有意差あり

第4表 排水対策と灌漑の有無が大豆の生育, 収量に及ぼす影響 (2018年: 柳川市)

試験区	出芽本数 (本/m ²)	開花期 (月.日)	成熟期 (月.日)	主茎長 (cm)	主茎節数 (節)	百粒重 (g)	子実重 (kg/a)	収量比 (%)	検査等級
施工+灌漑区	6.6	8.27	11.7	43	14.1	30.3	35.7	105	2.0
無施工区	6.1	8.27	11.7	42	14.4	29.4	33.9	100	2.0

- 1) 収量比は無施工区の子実重を100とした値
- 2) 検査等級は大粒と中粒の平均値で1(1等上)~6(2等下)で示す
- 3) t検定により全ての項目で有意差なし

また, 筑後分場内で2017年と2018年に実施した排水対策および灌漑の有無が大豆の生育および収量に及ぼす影響について第3表に示した。出芽本数, 開花期および成熟期に試験区間の差は認められなかった。施工+灌漑区および施工区は無施工区に比べ, 主茎長が長く, 主茎節数が多かった。さらに, 無施工区に比べ施工+灌漑区は整粒数が多く, 百粒重が1.5g重かったため, 子実重が14%重かった。また, 検査等級に差はみられなかった。

2018年の現地実証試験における排水対策および灌漑の有無が大豆の生育, 収量に及ぼす影響について第4表に示した。施工+灌漑区は無施工区に対して, 出芽本数, 開花期, 成熟期, 主茎長, 主茎節数, 百粒重, 子実重や検査等級に差は認められなかった。

考 察

農家の経営安定には大豆の生産量の安定確保は喫緊の課題であり, そのためには豪雨や干ばつ等両極化する気

象変動に幅広く対応して土壌水分をコントロールできる栽培技術が必要である。

水分管理の指標である土壌 pF 値については, ほ場含水量である pF1.5 から毛管連絡切断点である pF2.7 までは作物が容易に吸収しやすい水分状態といわれている(三好・丹原 1977)。また, 田中・吉田(1982)は, 大豆の生育初期において土壌水分が pF2.2 から 2.6 が最も根粒の着生が良好であったと報告している。本試験の現地実証試験において灌漑により pF が 2.8 から 2.4 へ低下したことから(第4図), 土壌の乾燥状態が改善され, 大豆の生育に適した pF に到達したと考えられる。加えて pF 値は降雨に伴い低下するが, 2018年9月20日, 21日の60mm/日以上の降雨後に施工区は無施工区に比べ pF の最小値が高く, 現地実証試験においては土壌 pF の速やかな上昇がみられたことから, 弾丸暗渠から明渠に排水を促す効果が確認できた。

また, 桑原(1988)は大豆の根の伸長や分布および根粒活性には土壌水分が大きく影響を与えたとし, 耕耘爪の除去や付け替えによる有芯部分耕栽培では根群に未耕起部分が多く土壌水分の変動が小さいため, 整粒数や百粒重の増大効果を報告している(吉永ら 2008)。加えて, FOEAS では土壌の乾燥や過湿が軽減され土壌水分の変動が小さいことから, 光合成や根粒窒素固定活性が高く維持されることを報告している(島田ら 2008)。筑後分場内の試験において, 施工+灌漑区の大豆の子実重は, 無施工区に比べ, 有意に重かった。2017年の生育期間中の調査においては, 灌漑前の時点で明渠と暗渠を施工した区は無施工区に比べ主茎長が長かったことから, 明渠につながる形で弾丸暗渠を施工することで, 降雨による過湿時の

速やかな排水が行われたことにより生育は良好になったものと考えられる。一方、7月下旬から8月が高温で降雨が少なく乾燥条件が続いた2018年においては、中耕培土後開花期間の複数回の灌漑により乾燥状態が改善し、根群環境が良好となり、節数が増え、主茎長が伸長し、粒数および百粒重の増大により収量の増加に結びついたものと推察される。

本試験においては灌漑する際に、明渠の一部に崩落や明渠内に雑草が繁茂している状況がみられた。その場合、圃場全体に水が行きわたるまで時間を要し、水が到達しない部分が発生する可能性も考えられる。そのため、排水対策の徹底に加えて速やかな入水のために明渠の作溝の整備を行うことが重要であると考えられる。

本試験の結果、pF値は降雨に伴い低下するが、明渠と弾丸暗渠を施工した区は無施工に比べ、降雨後は速やかに上昇することが確認できた。また、明渠に入水する灌漑によりpF値が低下したことから、乾燥時の灌漑効果も確認できた。さらに、排水対策および灌漑により大豆の収量の増大効果も確認できたことから、明渠と弾丸暗渠をつなぎ土壌水分を制御することが大豆の収量向上につながることを示唆された。

引用文献

- 浅生秀孝・松下真一郎 (1988) 転換畑大豆における畦間かん水の効果. 北陸作物学会報 23 : 83-85.
- 福岡県農林水産部経営技術支援課 (2014) 福岡県大豆栽培技術指針. 20
- 古畑昌巳・足立一日出・大野智史 (2011). 圃場排水性の良否が北陸地域のダイズの乾物と子実生産に及ぼす影響. 日作紀 80 : 65-72.
- 服部 誠・藤田与一・樋口泰浩・南雲芳文・高橋能彦 (2012) ダイズ圃場における地下水位の簡易測定法. 北陸作物学会報 47 : 75-78.
- 石塚明子・小田原考治・黒柳直彦・藤富慎一・荒木雅登・石橋正文 (2016). 福岡県のダイズ生産圃場における土壌理化学性の実態. 福岡農林試研報 2 : 19-24.
- 岩淵哲也・石塚明子 (2017). スタブルカルチによる深耕が土壌の排水性やダイズの生育および収量に及ぼす影響. 福岡農林試研報 3 : 5-8.
- 川村富輝・小田原考治・光岡宗司・井上英二・岡安崇史 (2013). 転換畑における部分浅耕播種法がダイズの生育・収量に及ぼす影響. 農作業研究 48 (2) : 49-59.
- 川崎哲郎・石田典兄 (1985). 水田の深耕が大豆の生育及び土壌の物理性に及ぼす影響. 愛媛県農業試験場 24 : 3-7.
- 気象庁 日本の異常気象, 災害をもたらした気象事例 https://www.data.jma.go.jp/cpd/longfcst/extreme_japan/index.html (2023年9月1日閲覧) <https://www.data.jma.go.jp/sats/data/bosai/report/index.html> (2023年9月1日閲覧)
- 桑原真人 (1988). 大豆根の伸長・分布および根粒活性と土壌水分. 土壌の物理性 57 : 15-21.
- 南山恵・杉森史郎 (2009) 2007年度の干ばつ条件における地下灌漑システム (FOEAS システム) が土壌水分および大豆の収量に及ぼす影響. 北陸作物学会報 47 : 50-52.
- 三好 洋・丹原一寛 (1977) 土の物理性と土壌診断. 日本イリゲーションクラブ : 50-52.
- 日本作物学会九州支部会 (編) (2013) 作物調査基準. ダイズ, p.87-88.
- 農林水産省統計部作物統計 (2019) 大豆関連データ集. 3 作付面積の推移 a) 田畑計. https://www.maff.go.jp/j/seisan/ryutu/daizu/d_data/attach/pdf/index-47.pdf (2023年10月22日閲覧)
- 農林水産省統計部作物統計 大豆関連データ集. 4 単収の推移 ③10a 当たり収量 a) 田畑平均. https://www.maff.go.jp/j/seisan/ryutu/daizu/d_data/attach/pdf/index-46.pdf (2023年10月22日閲覧)
- 小田原孝治・福島裕助・荒木雅登・兼子 明・荒巻幸一郎 (2012) 筑後川流域の田畑輪換圃場における土壌肥沃度とダイズ子実収量性の実態. 土肥試 83 : 405-411.
- 竹之内 篤・芝田英明 (1992) 水田転換畑における中耕培土と灌水が大豆の生育と子実収量に及ぼす影響. 愛媛県農試研報 31 : 73-79.
- 竹田博之・佐々木良治 (2013) 転換畑ダイズ不耕起栽培における地下水位制御システムを利用した梅雨期および梅雨明け後播種栽培. 日作紀 82 : 233-241.
- 田中伸幸・吉田 昭 (1982) 大豆の生育初期における土壌水分と根粒着生. 山形県研究報告 17 : 151-159.
- 島田信二・濱口秀生・加藤雅康・国立卓生・田澤純子・松浦和哉・金榮 厚・藤森新作 (2008) 低窒素肥沃度水田転換畑圃場における FOEAS の地下水位制御がダイズの生産性に及ぼす効果-2ヵ年の成績. 日作紀 77 (別2) : 50-51.
- 住吉 正 (2011) 九州地域の大豆畑における帰化アサガオ類の発生実態と生態に関する研究. 農業および園芸 86 (4) : 433-440.
- 内川 修・福島裕助・松江勇次 (2003) 北部九州におけるダイズの収量と気象条件との関係. 日作紀 72 : 203-209.
- 内川 修・森田茂樹 (2015) 福岡県における2013年産大豆の収量低下要因. 日作九支報 81 : 31-32.
- 吉永悟志・河野雄飛・白土宏之・長田健二・福田あかり (2008) 転換畑ダイズ作における有芯部分耕栽培が土壌水分および生育・収量に及ぼす影響. 日作紀 77 : 299-305.