

海水塩分が大豆の生育に及ぼす影響

阿部倫則・佐藤一良¹⁾・長谷部幹²⁾

Effects of Sea Water Salinity on the Soybean

Tomonori ABE, Kazuyoshi SATO, Kan HASEBE

抄 録

2011年3月11日に発生した東日本大震災により、宮城県の太平洋沿岸地帯の耕作地には津波による海水および土砂が流入し、土壌塩分濃度が高くなった。宮城県では水稻の主要な転作作物は大豆であるが、土壌塩分が生育にどのように影響を及ぼすか不明である。本研究では、主に品種タンレイを供試品種とし、2012年から2013年にかけて海水を散布処理した古川農業試験場試験ほおよび現地津波被災ほ場において、土壌塩分と大豆の生育の関係について調査した。

大豆の出芽率と土壌 EC (dS/m) との間には負の相関が見られ、 $y = -43.4x + 110$ の回帰直線を当てはめることができた。出芽率 95% を安全な水準であるとする、出芽が塩分に影響を受けない土壌 EC は 0.345 dS/m と算出された。また、土壌塩分が高まると、大豆の根粒数や乾物重が有意に減少し、地上部の窒素吸収量が減少した。このため、主茎長および分枝数が減少し、総節数および莢数も減少し、減収した。土壌 EC は 0.29 dS/m 以下の範囲では収量との間に有意な相関関係は見られなかった。この値を塩化物イオン濃度に換算すると 568 mg-Cl/kgDW となった。すなわち、土壌 EC が 0.29 dS/m および塩化物イオン濃度 568 mg-Cl/kgDW 以下であれば、大豆は塩害を受けないと推察した。

〔キーワード〕：大豆 海水塩分 土壌 EC 主茎節数 収量

Key words : Soybean, Sea Saline, Soil EC, Stem node, Yield

緒 言

2011年3月11日に発生した東日本大震災により、宮城県の太平洋沿岸地帯の耕作地には津波による海水および土砂が流入し、土壌塩分濃度が高くなった。除塩および降雨により土壌塩分は低下したが、津波被害を多く受けた海に近い沿岸地域は地盤沈下の影響もあり、塩分が十分に低下しにくいほ場も見られ、作物栽培への影響が懸念された。

宮城県は水稻の栽培が盛んであるが、水稻の転作作物として主に大豆が栽培され、全国2位の栽培面積を有する。津波の被害にあった一部のほ場にも例年大豆が栽培されており、次作が塩害により影響を受ける事が懸念されていた。

大豆の耐塩性については、水稻と同等と区別されている(田中ら, 1974)。しかし、水稻はほ場を湛水するため、強い中干しをしなければ、塩害を受けにくい。

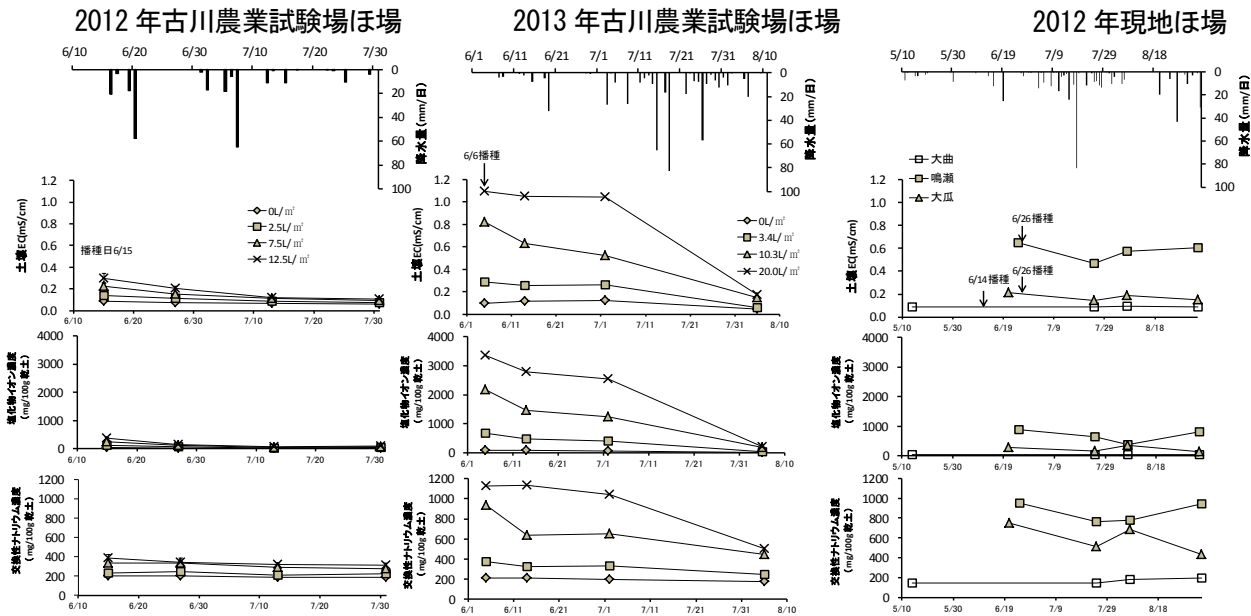
一方、大豆ほ場では湛水しないため、一度除塩により

作土層の塩分を除去しても、下層土の塩分が毛細管現象により表層に上昇する可能性がある(星・遊佐, 2012)。また、たとえ土壌 EC (土壌:水=1:5) が同じでも、湛水中の土壌よりも湛水していない土壌のほうが、土壌溶液の塩濃度は高い。このため、大豆は水稻よりも塩害による影響を受けやすいといえる。

塩分が大豆生育へ及ぼす影響については、ポット試験で検討される例はあるが(田村 1992, Umezawa et al. 2001)、実際のほ場において、海水塩分濃度の違いが本県で主要な品種である「タンレイ」の生育収量に及ぼす影響を明らかにしたものは少ない。

本試験の一部のデータを用い、播種前土壌 EC と大豆収量の関係については阿部・村主(2015)で報告した。ただし、大豆の生育や収量構成要素にどのような影響があったかについては明らかにされていない。

そこで、本報では土壌塩分濃度の違いが大豆の生育に及ぼす影響を明らかにすることを目的とする。



第1図 試験期間中の降雨量と塩分濃度の経時変化

なお、本論文には、2013年日本土壤肥料学会名古屋大会の発表データおよび阿部・村主（2015）で報告したデータの一部を使用した。

材料および方法

古川農業試験場内 B52 ほ場 (5a) で 2012 年～2013 年の 2 ヶ年、土壌塩分の違いが大豆の生育収量に及ぼす影響を調べるためほ場試験を行った。さらに、大豆発芽率に及ぼす影響を調べるためポット試験を行った。また、津波の被害にあい、除塩を行ったほ場で 2012 年に大豆を栽培し、土壌塩分の推移および収量について調査を行った。

1 古川農業試験場試験概要

1) 2012 年ほ場試験

本ほ場の土壌は灰色低地土で本暗渠は施工されている。前作水稻を作付けした転作初年目のほ場に石巻市沿岸で採取した海水を 6 月 14 日に 0L/m²、2.5L/m²、7.5L/m²、12.5L/m² 散布した。その際、最も海水散布量が多い 12.5L/m² と他の区の水分条件を揃えるため、0L/m² 区には水のみを、海水散布量が少ない区の海水に水を加えて、同量の散布量とした。十分に乾燥した後に、耕耘機で混和した。6 月 15 日に大豆品種「タンレイ」を条間 75cm 株間 20cm で 1 株 2 粒播種した。処理は 3 反復とした。収穫日は 11 月 5 日とした。調査項目は大豆の節数、莖長、分枝数、収量、土壌の EC、塩化物イオン濃度、交換性ナトリウム濃度とした。なお、土壌

はコアサンプラーにより 0～15cm および 15～30 cm の土壌を別々に採取分析し、平均値を 0～30cm の値とした。

2) 2012 年ポット試験

ほ場試験において土壌に海水処理を行い耕耘した後に作土 (0L/m²、2.5L/m²、7.5L/m²、12.5L/m²) の一部をポット (幅 622mm, 奥行 346mm, 高さ 280mm) に詰めた。ポットには排水性を確保するために側部下方に直径 5～6cm の穴を 4 個開けた。なお、ポットはほ場 B52 に設置し、雨水の進入を制限し塩分の流出を抑制するため黒マルチで土壌表面を被覆した。マルチに穴を開け、1ポット 5 粒播種した。播種日はほ場試験と同様、6 月 15 日とし、3 反復とした。収穫日は 11 月 5 日とした。調査項目は、栽培前土壌 EC、塩化物イオン濃度、交換性ナトリウム濃度、発芽率とした。

3) 2013 年ほ場試験

2012 年と同じほ場に石巻市沿岸で採取した海水を 6 月 3 日に 0L/m²、3.4L/m²、10.3L/m²、20.0L/m² 散布し、2012 年と同様の処理を施した。播種日は 6 月 6 日とし、大豆品種「タンレイ」を条間 75cm 株間 20cm で 1 株 2 粒播種した。処理は 3 反復とした。収穫日は 11 月 6 日とした。なお、0L/m²、3.4L/m²、10.3L/m²、20.0L/m² 区はそれぞれ 2012 年の 0L/m²、2.5L/m²、7.5L/m²、12.5L/m² の位置に配置した。調査項目は大豆の節数、莖長、分枝数、根粒重、根粒数、収量、土壌の EC、塩化物イオン濃度、交換性ナトリウム濃度とした。土壌

の採取は2012年と同様に行った。

4) 2013年ポット試験

処理方法等は2012年と同様とし、0L/m²、3.4L/m²、10.3L/m²、20.0L/m²散布区を設定した。

2 現地ほ場概要

供試ほ場は石巻市大曲、大瓜地区および東松島市鳴瀬地区の大豆ほ場。なお、ほ場の土壌タイプおよび暗渠施工の有無は不明であった。供試品種は大曲と鳴瀬はミヤギシロメ、大瓜はタンレイ、播種日は大曲が2012年6月14日、大瓜および鳴瀬が2012年6月26日。栽植密度は大曲が13.0本/m²、鳴瀬が10.5本/m²、大瓜が21.8本/m²。収穫日は大瓜が10月28日、大曲が10月30日、鳴瀬が11月17日。調査項目は土壌EC、塩化物イオン濃度、交換性ナトリウム濃度、収量。なお、土壌はコアサンプラーにより0~10cm、10~20cm、および20~30cmの土壌を別々に採取分析し、平均値を0~30cmの値とした。

結果

1 古川農業試験場ほ場（ほ場試験）

1) 土壌EC、塩化物イオン濃度、交換性ナトリウム濃度の経時変化

播種日の土壌層0~30cmまでの土壌塩分濃度は、2012年は処理区間で差が少なく想定より低かった。一方、2013年はほぼ想定通りの濃度差となった(第1図)。散布した海水の塩分は、2012年が3.23%-NaCl、2013年が3.08%-NaClと大きな差はなく、両年とも海水散布日から大豆播種日までの間に降雨は見られなかった。ただし、2012年は海水散布前の6月6日~6月10日にかけて断続的に降雨があり、5日間で54.5mmの降雨量となった。このため、海水散布時の下層土は湿り気が多かった。一方、2013年は海水散布3日前に7mm程度の降雨があったものの、それ以前には降雨が少なかったため、下層土は乾燥していた。すなわち、下層土が湿っていた2012年は、海水が土壌へ十分に吸収されず、弾丸暗渠等を経て流亡し、2013年は土壌が乾燥していたため、海水が弾丸暗渠に到達する前に土壌に吸収されたものと推察した。

積算降水量は2012年6月16日~7月30日は、249mm、2013年6月6日~8月4日は442mmと、この期間の日平均降水量は2013年のほうが多かった。ただし、2012年6月16日~7月12日は220mm、2013年6月6日~7月1日は56mmと、播種後1ヶ月間の雨量は2013年の

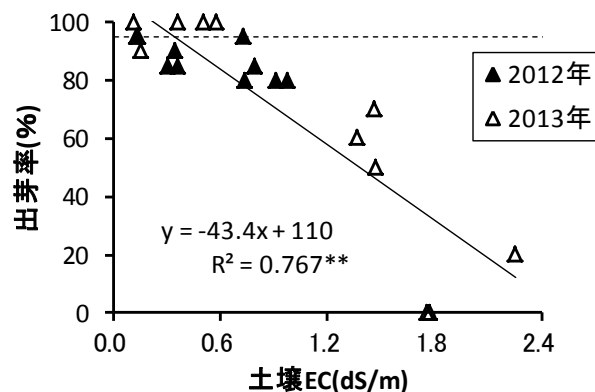
ほうが少なかった。このことを反映して、2012年の土壌ECおよび土壌塩化物イオン濃度は雨により流亡し徐々に減少した。

また、2013年は7月1日まで、減少幅が少なく、その後急激に減少した。一方、交換性ナトリウム濃度の減少幅は塩化物イオン濃度に比べ少なかった。

2) 土壌ECと大豆出芽率の関係

海水を散布した土壌にクラストが発生し発芽苗立ちを阻害することを予想した。しかし、クラストは全処理区で若干見られたが、海水散布量の多少による程度の違いは見受けられなかった。海水散布量が多い土壌では、芽が出ないか出ても小さいままで苗立ちに至らないケースが多かった。

大豆の出芽率と土壌EC(dS/m)の間には負の相関が見られ、 $y = -43.4x + 110$ の回帰直線を当てはめることができた。2012年および2013年の0L/m²区の出芽率は95%であることから、95%を安全な水準であるとする、出芽が塩分に影響を受けない土壌ECは0.345 dS/mと算出された(第2図)。また、出芽率と塩化物イオン濃度(g-Cl/kgDW)の間には、 $y = -13.1x + 100$ 、 $R^2 = 0.82^{**}$ 、交換性ナトリウムイオン濃度(g-Na/kgDW)の間には、 $y = -44x + 111$ 、 $R^2 = 0.75^{**}$ の関係が見られた。また、出芽が塩分に影響を受けない塩化物イオン濃度は0.38g-Cl/kgDW、交換性ナトリウムは0.36g-Na/kgDWと算出された。



第2図 播種日土壌ECと大豆発芽率の関係（ポット試験）

試験は1区20粒播種し、播種後2週間で発芽が確認された数を調査した。各処理区は3反復(n=12)とした。ただし、2012年は0L/m²区と7.5L/m²区の一部が鳥の食害を受けたので、それぞれ、n=1およびn=2となった。土壌ECは播種前値。決定係数に記載された**は、出芽率と土壌ECとの間に危険率1%水準で有意な相関があることを示す。破線は出芽率95%を示す。

3) 播種後60日までの大豆生育

各処理区の播種後60日までの大豆生育を表1および表2に示した。海水を散布しない0L/m²区を年次間で比較すると、2012年8月の主茎長は56.8cm、主茎節数は157本/m²、分枝数は51本/m²であった。一方、2013年8月の主茎長は76.2cm、主茎節数は164本/m²、分枝数は39本/m²と、2012年よりも主茎長が長いが分枝数は少ない傾向が見られた。2012年は期間を通して高温多照で推移したが、2013年は6月下旬～7月上旬および開花期頃(7月下旬～8月上旬)に日照が平年値より少ない日が多かった。このため、2013年は徒長気味に生育が推移した。

処理区間で比較すると、2012年の茎長、主茎節数および分枝数は処理区間で有意差は見られなかった。2013年は0L/m²と3.4L/m²とに有意差は見られなかったが、10.3L/m²および20.0L/m²の茎長は0L/m²の67%および36%、主茎節数は44%および15%、分枝数は41%および10%と有意に少なかった。

4) 各処理区の大豆根粒重および粒数の関係(2013年)

0L/m²区の土層0-25cmの根粒乾物重は10.43g/m²、根粒数は3525個/m²、根粒1個当たりの乾物重は3.1mgであった。層位別では、0-15cm層の根粒乾物重は全体の96%、根粒数は93%、15-25cm層に根粒乾物重は4%、根粒数は7%見られた。処理区を比較すると、3.4L/m²区、10.3L/m²区および20.0L/m²区の0-25cm層根粒乾物重はそれぞれ14.14g/m²、3.94g/m²および1.21g/m²と、3.4L/m²区は0L/m²区の147%と多いが、10.3L/m²区は71%、20.0L/m²区は40%と少なかった。一方、根粒数はそれぞれ、4692粒/m²、1287粒/m²および437粒/m²と、0L/m²区のそれぞれ133%、37%および12%に相当し、乾物重と同様の傾向が見られたが、乾物重よりも10.3L/m²区および20.0L/m²区の0L/m²区比は低かった。また、乾物重/根粒数(mg/個)比は10.3L/m²区および20.0L/m²区が、3.0および2.5と0L/m²区に比べて大きな差はなかった(第3表)。さらに、大豆1本当たりの根粒数と土壌ECの間に負の相関が見られた(第3図)。

第1表 各処理区の大豆タンレイの生育比較(2012年)

区名	茎長(cm)		主茎節数(節/m ²)		分枝数(本/m ²)	
	7月13日	8月15日	7月13日	8月15日	7月13日	8月15日
0L/m ²	14.8 a	56.8 a	58 a	157 a	0 a	51 a
2.5L/m ²	16.1 a	62.4 a	57 a	139 a	0 a	51 a
7.5L/m ²	16.7 a	60.5 a	56 a	152 a	0 a	51 a
12.5L/m ²	15.9 a	58.6 a	53 a	139 a	0 a	53 a

Tukeyの方法で処理区間の有意差検定を行った。異なるアルファベットは処理区間に危険率5%水準で有意差があることを示す。

第2表 各処理区の大豆タンレイの生育比較(2013年)

区名	茎長(cm)		主茎節数(節/m ²)		分枝数(本/m ²)	
	7月5日	8月5日	7月5日	8月5日	7月5日	8月5日
0L/m ²	19.1 a	76.2 a	63 a	164 a	0 a	39 a
3.4L/m ²	18.5 a	74.1 a	56 a	147 a	0 a	35 a
10.3L/m ²	12.0 b	50.9 b	25 b	72 b	0 a	16 b
20.0L/m ²	5.2 c	27.4 c	6 c	24 c	0 a	4 c

Tukeyの方法で処理区間の有意差検定を行った。異なるアルファベットは処理区間に危険率5%水準で有意差があることを示す。

第3表 大豆の根粒調査 (2013年)

		乾物重		根粒数		乾物重/根粒数 (mg/個)
		(g/本)	(g/m ²)	(個/本)	(個/m ²)	
0L/m ²	0-15 cm	0.79	10.00	260.0	3281	3.2
	15-25cm	0.03	0.42	19.0	244	1.8
	0-25 cm	0.83	10.43	279.0	3525	3.1
3.4L/m ²	0-15 cm	1.17 (148)	13.64 (136)	395.7 (152)	4522 (138)	3.3
	15-25cm	0.04 (130)	0.49 (117)	14.3 (75)	170 (70)	3.2
	0-25 cm	1.22 (147)	14.14 (136)	410.0 (147)	4692 (133)	3.3
10.3L/m ²	0-15 cm	0.56 (71)	3.67 (37)	184.0 (71)	1215 (37)	2.9
	15-25cm	0.03 (90)	0.27 (63)	8.3 (44)	72 (30)	3.1
	0-25 cm	0.59 (71)	3.94 (38)	192.3 (69)	1287 (37)	3.0
20.0L/m ²	0-15 cm	0.33 (41)	1.21 (12)	126.0 (48)	436 (13)	2.5
	15-25cm	0.00 (2)	0.00 (0)	0.3 (2)	1 0	2.0
	0-25 cm	0.33 (40)	1.21 (12)	126.3 (45)	437 (12)	2.5

根粒は2013年8月8日に1株の地下部を幅30cm奥行き18cm深さ25cmのコアで採取し洗浄後調査した。層位0-25cmの根粒乾物重および粒数について、Tukeyの方法により有意差検定を行った。異なるアルファベットは危険率5%水準で有意差があることを示す。なお、10.3L/m²および20.0L/m²区の15-25cm層は、3反復のうち、それぞれ1および2反復で、根粒数は0であった。括弧内の数値は0L/m²を100とした時の相対値を示す。

5) 土壌塩分と大豆成熟期生育の関係

0L/m²区の大豆収量は、2012年に460g/m²、2013年に261g/m²と、2013年は2012年の57%と少なかった(第4表)。2013年は2012年よりも徒長ぎみで分枝数や着莢分枝節数が少なく、百粒重が小さかったことが収量の違いに反映された。

収量について処理区間を比較すると、2012年は有意差が見られなかった。播種時の土壌塩分濃度がすべての区で低い水準であり塩害を受けなかった。一方、2013年は、3.4L/m²区は0L/m²区に比べて有意差はなかったが、10.3L/m²区は0L/m²区の68%、20L/m²区は31%と有意に少なかった。2013年の成熟期生育量を比較すると、10.3L/m²区および20L/m²区の主茎本数は、それぞれ0L/m²区比54%および18%と少なかった。また、茎長は0L/m²区比70%および44%、主茎節数は47%および18%

といずれも低い水準であった。さらに、分枝数も主茎節数と同様の傾向が見られたことから、10.3L/m²区および20L/m²区の莢数は0L/m²区のそれぞれ73%および38%と少なくなった。すなわち、これらの区では生育した大豆個体数自体が少なかっただけでなく、主茎の伸長や分枝数が抑えられたため、総節数および莢数が減少し減収した。

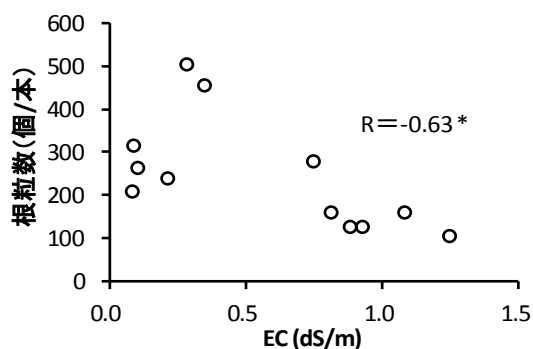
2 現地ほ場

1) 土壌EC、塩化物イオン濃度、交換性ナトリウム濃度の経時変化

石巻現地ほ場の播種前土壌層0~30cmの土壌塩分濃度は、大曲:0.09dS/m (46mg-Cl/kgDW, 150mg-Na/kgDW)、鳴瀬:0.65dS/m (876mg-Cl/kgDW, 949mg-Na/kgDW)、大瓜:0.32dS/m (273mg-Cl/kgDW, 747mg-Na/kgDW)と、大曲は低いが、鳴瀬は高い傾向が見られた(第1図)。大曲の土壌EC、塩化物イオン濃度および交換性ナトリウム濃度は期間を通して低い傾向を示した。また、大瓜の土壌ECおよび塩化物イオン濃度は低く推移したが、交換性ナトリウム濃度は期間を通してやや高い傾向を示した。一方、鳴瀬は土壌EC、塩化物イオン濃度および交換性ナトリウム濃度は期間を通して高い傾向を示した。

2) 成熟期生育状況の比較

収量は、3ほ場の中で、大曲が379g/m²と最も多く、鳴瀬は157g/m²と最も少なかった。鳴瀬は茎長が35.2cmと大曲の69%と小さく、主茎節数は76%、分枝数は37%と少なかった。このため着莢節数および莢数



第3図 大豆根粒数と播種日土壌ECの関係 (2013年)

が少なかった(第5表)。鳴瀬は播種期が6月26日と大曲に比べて遅いことも減収要因に挙げられる。しかし、鳴瀬のミヤギシロメは、同じ時期に播種した大曲の比較的短稈な品種のタンレイよりも茎長が5cm低いことから、高い土壌塩分により生育が抑制されたものと推察した。

考 察

1 土壌塩分が発芽および苗立ちに及ぼす影響

田村(1992)は塩化物イオン濃度が高くなると塩分ストレスにより発芽が抑制されると報告した。WangとShannon(1999)は土壌水中の電気伝導度が3dS/m未満であれば大豆品種Manokinの発芽および苗立ちは抑制されず、11dS/m以上では抑制されると述べた。本研究では0.381 mg-Cl /kgDW (0.345dS/m)よりも高い場合、発芽や苗立ちが抑制されるとした。本試験で得られた土壌ECは未風乾土10gに対し50mL蒸留水を加え混和後懸濁液を測定したものである。したがって、土壌水分30%、土壌仮比重を1、水分量とECが反比例すると仮定すると、本研究で得られた土壌EC 0.345dS/mは、

土壌水ECに換算すると6.09 dS/mと算出された。すなわち、本試験で得られた値は既報で得られた発芽阻害濃度よりも低いが、発芽阻害がないとされる濃度よりも高いと推察した。

2 土壌塩化物イオン濃度と交換性ナトリウム

古川農業試験場および現地ほ場では、経時的に、土壌の交換性ナトリウムは塩化物イオン濃度よりも減少幅が小さい(第1図)。塩化物イオンは負の電荷を帯びるので、土壌に吸着されにくい、ナトリウムは正の電荷を帯びるので土壌に吸着されやすい(岩田ら1980)。このため、ナトリウムイオンは雨による流亡が抑えられる。また、本試験においては、土壌のナトリウム濃度が高いにもかかわらず、クラストによる発芽阻害は見られなかった。これは、発芽時、土壌中にナトリウムと同様に塩化物イオンも、同様に多く存在しており、土壌粒子の分散が抑制されたためと考えられた。

3 生育期間内の土壌塩分変動が大豆生育に及ぼす影響

第4表 大豆の成熟期生育(古川農業試験場)

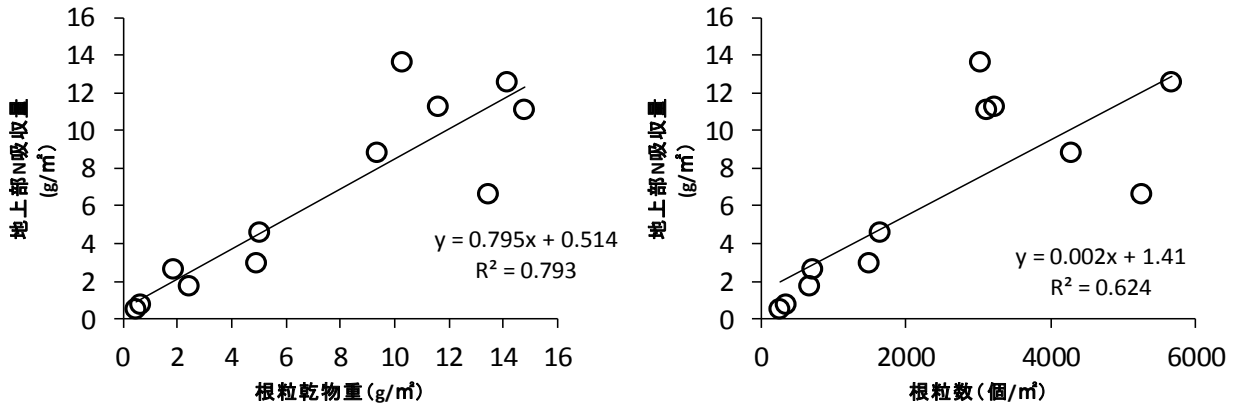
年度	区名	主茎本数	茎長	主茎節数	分枝数	分枝節数	総節数	着莢節数	莢数	収量	百粒重	
		本/m ²	cm	節/m ²	本/m ²	節/m ²	節/m ²	節/m ²	節/m ²	g/m ²	g	
2012	0L/m ²	12.2	61.2	173	60	305	478	368	899	460	a	28.7
	2.5L/m ²	11.2 (91)	66.6 (109)	168 (97)	59 (97)	300 (98)	468 (98)	342 (93)	881 (98)	439 (95)	a	29.5 (103)
	7.5L/m ²	11.7 (96)	65.3 (107)	173 (100)	61 (102)	314 (103)	488 (102)	356 (97)	874 (97)	376 (82)	a	28.0 (98)
	12.5L/m ²	11.2 (91)	61.1 (100)	159 (92)	57 (95)	291 (95)	450 (94)	343 (93)	824 (92)	383 (83)	a	28.6 (100)
2013	0L/m ²	12.7	84.7	181	45	198	379	276	735	261	a	26.5
	3.4L/m ²	11.7 (92)	82.9 (98)	170 (94)	50 (111)	225 (114)	395 (104)	300 (108)	797 (109)	267 (102)	a	26.2 (99)
	10.3L/m ²	6.9 (54)	59.6 (70)	86 (47)	26 (56)	120 (61)	206 (54)	177 (64)	538 (73)	177 (68)	b	26.4 (100)
	20.0L/m ²	3.3 (26)	37.6 (44)	33 (18)	11 (25)	46 (23)	78 (21)	68 (25)	205 (28)	81 (31)	c	28.5 (108)

主茎本数は成熟期に生育していた大豆主茎の数を示す。着莢節数は着莢主茎節数と着莢分枝節数をあわせた値。収量および百粒重は粒径7.3mm以上のものを、水分15%補正して求めた値。収量については、各年度毎に区間でTukeyの方法により有意差検定を行った。異なるアルファベットは危険率5%水準で有意差があることを示す。括弧内の数値は0L/m²を100とした時の相対値を示す。

第5表 大豆の成熟期生育(現地ほ場)

地域名	品種	播種日	畦間	茎長	主茎節数	分枝数	分枝節数	総節数	着莢節数	莢数	収量	百粒重
				cm	節/m ²	本/m ²	節/m ²	節/m ²	節/m ²	節/m ²	g/m ²	g
大曲	ミヤギシロメ	6月14日	77	51.0	166	73.3	555	720	434	669	379	40.9
鳴瀬	ミヤギシロメ	6月26日	76	35.2	126	27.2	121	246	141	182	157	37.6
大瓜	タンレイ	6月26日	66	40.2	287	68.5	318	605	453	803	252	27.4

着莢節数は着莢主茎節数と着莢分枝節数をあわせた値。収量および百粒重は粒径7.3mm以上のものを、水分15%補正して求めた値。



第4図 地上部窒素吸収量と根粒乾物重および根粒数の関係（2013年）

地上部は根粒を採取した株から採取したもの。

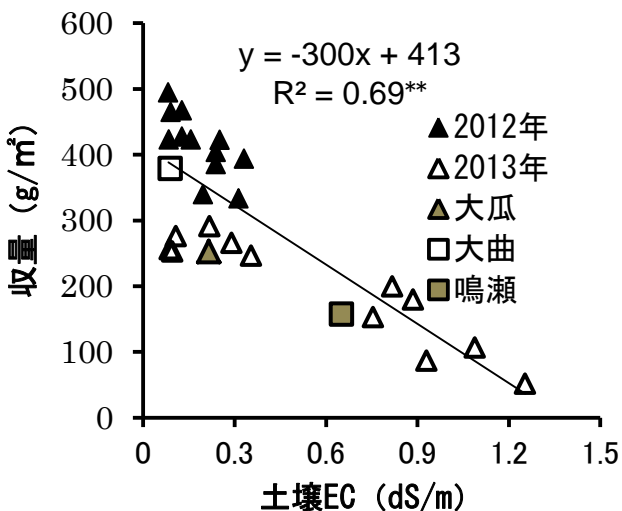
2013年の古川農業試験場内ほ場における試験において、播種から1ヶ月および1ヶ月から2ヶ月の茎長の伸びを比較すると 0L/m²区は 19.1cm および 57.1cm, 20L/m²区は 5.2cm および 22.2cm となった。20L/m²区の伸びを 0L/m²区比とすると播種から1ヶ月は 27%, 1ヶ月から2ヶ月は 39%となった。すなわち、塩分が降雨で減少する試験場での試験では、生育が進行するにつれて 0L/m²区と添加区の生育差は縮まった。したがって、播種時に土壌塩分が低くても生育期間中に地下の塩分が作土層に上昇するほ場においては、生育への影響をさらに検討する必要があると推察した。

4 土壌塩分が大豆の根粒および窒素吸収量に及ぼす影響

大豆は、主に根粒菌、土壌および肥料から窒素を吸収している。このなかで、子実肥大初期には全植物体窒素の 18~58%が根粒菌の固定窒素で、子実肥大期に根粒菌が固定した窒素の 60~80%が子実を集積することから（藤田と田中 1982）、作物生産上、重要な窒素源である。この根粒菌量が、土壌塩分の高まりと共に減少した（第3図）。また、根粒数および根粒乾物重と地上部窒素吸収量との間には正の相関が見られた（第4図）。すなわち、土壌塩分が高まると、大豆の根粒数や根粒乾物重が減るため、窒素固定量が減少する。窒素固定量が減ると地上部の窒素吸収量が減少し、主茎長および分枝数が減少することになった。主茎長および分枝数が減少すると総節数および莢数が減少し、減収するものと推察した。

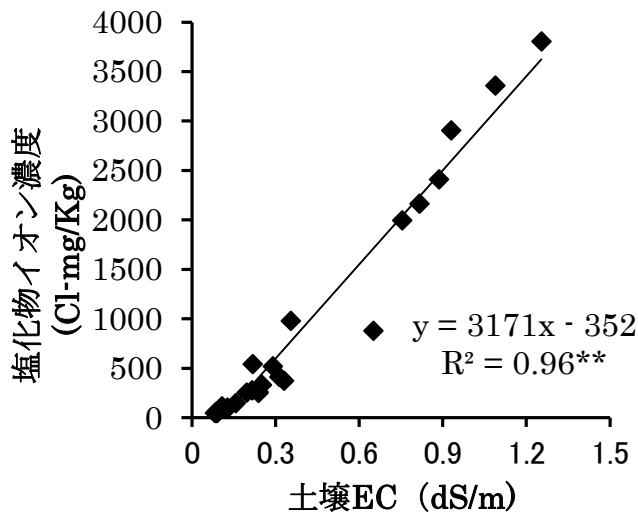
5 大豆生育を阻害しない土壌塩分基準

現地ほ場および古川農業試験場の試験から得られた大豆の収量と土壌 EC との関係を示した。土壌 EC が高まるにしたがい、収量が減少した。ただし、土壌 EC は 0.29dS/m 以下の範囲では収量との間に有意な相関関係は見られなかった（阿部・村主 2015）。また、土壌 EC と塩化物イオン濃度 (mg-Cl/kgDW) の間に有意な相関関係が見られ、関係式 $y=3171x-352$ が得られた（第6図）。この式を用いて 0L/m²区と同等の生育を示した土壌塩分 0.29dS/m を塩化物イオン濃度に換算すると、568mg-Cl/kgDW となった。すなわち、塩化物イオン濃度は 568mg-Cl/kgDW 以下では大豆収量に影響を及ぼさないと推察した。



第5図 土壌 EC と大豆収量の関係

2012年および2013年は古川農業試験場内ほ場の結果であり、土壌 EC は播種日の値。現地の土壌 EC は大曲が5月14日、鳴瀬は6月25日、大瓜は6月21日の値。決定係数に記載した**は危険率5%水準で有意な相関があることを示す。



第6図 土壌ECと塩化物イオン濃度の関係

決定係数に記載した**は危険率5%水準で有意な相関があることを示す。N=27。

まとめ

本研究では、海水を散布処理した古川農業試験場試験ほおよび現地津波被災ほ場において、土壌塩分と大豆の生育の関係について調査したところ以下の結果が得られた。

1. 大豆の出芽率と播種前土壌EC(dS/m)の間には負の相関が見られ、 $y = -43.4x + 110$ の回帰直線を当てはめることができた。出芽率95%を安全な水準であるとすると、出芽が塩分に影響を受けない土壌ECは0.345 dS/mと算出された。また、出芽率と塩化物イオン濃度(g-Cl/kgDW)の間には、 $y = -13.1x + 100$ 、 $R^2 = 0.82^{**}$ 、交換性ナトリウムイオン濃度(g-Na/kgDW)の間には、 $y = -44x + 111$ 、 $R^2 = 0.75^{**}$ の関係が見られた。出芽率95%を安全な水準であるとすると、出芽が塩分に影響を受けない塩化物イオン濃度は0.38 g-Cl/kgDW、交換性ナトリウムは0.36g-Na/kgDWと算出された。

2. 播種後60日の大豆生育を比較したところ、土壌塩分が処理区間で大きな差がつかなかった2012年は、大豆の莖長、主莖節数および分枝数は処理区間で有意差は見られなかった。一方、土壌塩分に差がついた2013年は、0L/m²と3.4L/m²とに有意差は見られなかったものの、10.3L/m²および20.0L/m²の莖長は0L/m²の67%および36%、主莖節数は44%および15%、分枝数は41%および10%と有意に少なかった。

3. 大豆1本当たりの根粒数と土壌ECの間に負の相関が見られた。一方、根粒1個当たりの乾物重は大きな

差はなかった。すなわち、土壌塩分が一定以上高まると根粒数が減少することを指し示すと推察した。

4. 塩分濃度が高まるにしたがい、収量が減少するが、土壌ECは0~0.29dS/mの範囲では収量との間に有意な相関関係は見られなかった。この値を塩化物イオン濃度に換算すると568mg-Cl/kgDWとなった。すなわち、土壌ECが0.29dS/mおよび塩化物イオン濃度568mg-Cl/kgDW以下であれば、大豆「タンレイ」は塩害を受けないと推察した。

引用文献

- 1) 阿部倫則, 村主栄一. 2015. 津波被災農地の除塩対策 5. 宮城県における作物収量に影響を及ぼさない許容ECレベル 86 ; 430-431.
- 2) 岩田進午, 三輪睿太郎, 井上隆弘, 陽捷行 (Bolts, G. H.; Bruggenwert M. G. M. 編著) 土壌の化学. 東京. 学会出版. 309p.
- 3) Umezawa, T.; Shimizu, K.; Kato, M.; Ueda, T..2001. Effect of non-stomatal components on photosynthesis in soybean under salt stress. Jpn. J. Trop. 45; 57-63.
- 4) 田中 明, 但野利秋, 多田洋司. 1974. 塩基適応性の作物種間差 (第3報) ナトリウム適応性比較植物栄養に関する研究 45 ; 285~292.
- 5) 田村有希博. 1992. 塩化ナトリウム由来塩素がダイズの初期生育と根粒着生に及ぼす影響. 土壌肥料学会雑誌 63 ; 411-414.
- 6) 藤田耕之輔, 田中 明. 1982. ダイズにおける窒素の固定・吸収・転流に対する化合窒素の影響. 日本土壌肥料学雑誌 53 ; 30-34.
- 7) 星 信幸, 遊佐隆洋. 2012. 宮城県における津波による水田への影響と除塩. 日本海水学会誌 66 ; 74-78.
- 8) Wang, D.; Shannon M. C.. 1999. Emergence and seedling growth of soybean cultivars and maturity groups under salinity. Plant and Soil 214; 117-124.

Effects of Sea Water Salinity on the Soybean

Tomonori ABE, Kazuyoshi SATO, Kan HASEBE

Summary

The tsunami resulting from the Great East Japan Earthquake (March 11, 2011) deposited sea water and sand into fields of coastal areas in Miyagi, resulting in elevated salt levels in the soil. Soybeans are a main crop cultivated in rotation with rice in Miyagi Prefecture. It is uncertain what sort of effects the soil's salt level has on the growth of "Tanrei", a primary type of soybean. This study, conducted from 2012 to 2013, tested the relationship between soil salt levels and the growth of soybeans at a test field treated with sea water at the Furukawa Agricultural Experiment Station and on actual tsunami-affected fields.

The study found a negative correlation between soybean germination and soil electrical conductivity (EC). The result can be illustrated by the regression line $y = -43.4x + 110$. It was calculated that if 95% or higher is considered a successful germination rate, a soil EC of 0.345 dS/m or less will have no effect on germination. As salt levels in soil increased, the number of root tubercles and the dry weight of soybeans decreased significantly. Nitrogen absorption in the above-ground portion decreased as well. As a result, the length of main stems and the number of branches decreased, as did the number of nodes and pods, and yield declined. No significant correlation was observed between the soil EC and the yield when the soil EC was below 0.29 dS/m, or 568 mg-Cl/kgDW when converted to chloride ion concentration. Therefore, it was concluded that the growth of the "Tanrei" soybean was not prevented by salt from sea water as long as soil EC and chloride ion concentration were 0.29 dS/m or less and 568mg-Cl/kg or less respectively.

