研究論文

日本海側水田転換ほ場での土壌物理性の変化と 露地野菜の機械化作業体系

佐藤麻衣*・田邊大*・進藤勇人**・中川進平***・齋藤雅憲***・片平光彦*

* 山形大学農学部・** 秋田県農林水産部・*** 秋田県農業試験場

Changes of Soil Physical Properties and Power Farming Systems for Field Vegetable Cultivation in
Upland Fields Converted from Paddy near the Sea of Japan

Mai SATO*, Dai TANABE*, Hayato SHINDO**, Shinpei NAKAGAWA***,
Masanori SAITO*** and Mitsuhiro KATAHIRA*

*Faculty of Agriculture, Yamagata University

**Department of Agriculture, Forestry and Fisheries, Akita Prefectural Government

***Akita Prefectural Agricultural Experiment Station

本報は日本海側での水田の高度利用による生産者の粗収益増加を目的に、水田転換ほ場に対する排水対策の違いが土壌物理性に与える影響と露地野菜の機械化作業体系を検討した。水田転換ほ場に明渠と弾丸暗渠を施工した試験区（B区）では土壌構造の発達が顕著となり、明渠のみを施工した試験区（A区）と比較して飽和透水係数と畑地化指標が早期に改善した。転換初年目1作めエダマメの莢重収量はA区で935 kg/10a、B区で732 kg/10aであった。転換初年目2作めキャベツの収量は3,178 kg/10aと3,684 kg/10aであった。転換2年目サトイモの収量は早どり作型で3,026 kg/10aと2,613 kg/10a、慣行作型で2,539 kg/10aと2,364 kg/10aであった。転換3年目ネギの収量は4,464 kg/10aと7,107 kg/10aであった。日本海側の水田転換ほ場では、粘土質が高く排水性が悪いほ場の場合、弾丸暗渠を施工し畑地化を促進させる必要があるが、埴壤土程度の土性を有するほ場では明渠のみの施工で対応できる可能性がある。排水対策を施した水田転換ほ場では、初年目1作めで碎土性と湿害回避に優れるアップカットロータリを用いたエダマメの耕うん同時畝立て栽培、次いで水田用ハローの利用で畝立て作業を効率化できる小畝立て栽培に適したキャベツなどの作目の導入が有効である。2年目以降は土壌物理性の改善で作土層が拡大するため、サトイモの畝立てマルチ同時移植やネギの溝切り同時側条施肥などの作目と作業技術を適用することでは場を有効に活用できる。

キーワード：機械化作業体系、水田転換ほ場、土壌物理性、日本海側、露地野菜

1. 緒言

日本の2016年度耕地面積は4,471,000 ha、水田が2,432,000 ha、畑が2,039,000 haであり、同年に水田から畑に転換されたほ場が1,850 haとなっている（農林水産省2018）。水田面積は1969年の3,441,000 haをピークに減少しているが、水田転換畑は1971年に前年比3.4倍の15,300 haに増加したのを始め、2000年以降でも年間926~5,840

2019年2月25日受付

2020年2月14日受理

Corresponding author

片平光彦 Mitsuhiko KATAHIRA

〒997-8555 山形県鶴岡市若葉町1-23

1-23 Wakabamachi Tsuruoka, 997-8555, Japan

E-mail: mkata43@tds1.tr.yamagata-u.ac.jp

haの範囲で増加している。水田の畑転換に関し、本学のある山形県では水田畑地化事業が2001年度から2010年度まで対象面積10,052 haに対して行われ、転作田に対する畑作物栽培や基盤整備が実施された。事業実施地区での作物栽培は2003年に大豆などの土地利用型作物が1,428 ha、園芸作物が85 haの導入であったが、2010年にはそれぞれ3,838 haと1,078 haに変化しており、転換面積の拡大に伴い園芸作物の割合が増加した（山形県2011）。なお、導入された園芸作物はエダマメ、スイカ、ネギ、アスパラガス、山菜などであり、地域によって導入面積に差が生じている。日本海側の庄内地域に位置する山形県鶴岡市は、2017年度の野菜など高収益作物の作付け面積が全体で1,042.7 ha、そのうち重点作物助成対象作物であるエダマメが659.1 ha、ワラビが109.6 ha、ネギが29.1 ha、キャベツが12.0 ha、サトイモが9.0 haとなっており、2020年までにこれらを含む対象の12作物全体で935 haまで拡大する計画になっている（鶴岡市2018）。しかし、日本海側の水田は排水性の悪いほ場が多く、畑転換に際して排水性の改善とそれに対応した作付け体系の構築が必要である。

水田の高度利用が求められている現状に対し、片平ら（片平ら2004）は排水対策を施した重粘土水田転換ほ場にエダマメ、スイカ、キャベツ、ネギを対象とした機械化作業体系を報告している。その後、野菜栽培では大豆やエダマメでの耕うん同時畝立て技術（細川2004）、小畝立て深層施肥技術（後藤2011）、ネギの施肥同時溝切り技術（大竹ら2016）、キャベツの畝内施肥技術（藤原ら2000、進藤ら2013）、イモ類の半自動マルチ同時移植機（片平ら2010）などの湿害対策や作業の効率化に資する新技術が開発されており、それぞれ大きな効果をあげている。しかし、これらの新技術は単作での効果を中心に検討されており、水田転換ほ場で排水対策と作付け体系を踏まえた技術の効果について考察が不足している。

そこで、本報は日本海側での水田の高度利用による生産者の粗収益増加を目的に、水田転換ほ場に対する排水対策の違いが土壌物性に与える影響と機械化作業技術を導入した露地野菜の作付け体系での生育・収量を明らかにするため、山形県鶴岡市で4年間のは場試験を行った結果を報告する。

図1 実験ほ場と排水対策の概要

2. 材料および方法

1) 実験場所と排水対策

実験は2014年～2017年にかけて山形県鶴岡市にある山形大学農学部附属やまがたフィールド科学センター高坂農場内のほ場（土壌：灰色低地土、長辺27 m、短辺7.5 m、面積202.5 m²、本暗渠なし）2筆で行った。実験ほ場は2014年度まで水稻を作付けし、同年の水稻収穫後に以下の排水対策を実施した。

排水対策は2014年10月27日にトラクタに溝切り機（松山、OM-310）を取り付け、明渠を両ほ場の排水口側短辺7.5 mと長辺25 mに施工した。明渠は溝底幅が15～19 cm、溝幅が30～35 cm、深さが26～38 cmであった。次いで、片側のは場には2014年11月8日にモールドレーナ（イセキ、PD-110）で弾丸暗渠を施工した。弾丸暗渠は表面排水を促進するため明渠と連結させ、排水口からほ場入口側に向かって5 m間隔で斜めに片側4本ずつの合計8本、ほ場の中央に1本をそれぞれ明渠と同じ深さで円形の暗渠孔を施工した。実験ほ場と排水対策の概要を図1に示す。

2) 作付け体系と試験機の構成

(1) 作付け体系と耕種概要

ほ場への露地野菜の作付けは実験地域である鶴岡市の重点助成対象作物であり、水稻の作付けと作業競合しないこと、ロータリの作業特性を参考に設定した。

水田転換初年目は庄内地方の主要な転換作物で

表 1 耕種概要

作目	品種	播種・定植時期	収穫時期	施肥条件	施肥量 (N, kg/a)	栽植様式 (cm) 条間 株間
エダマメ	湯あがり娘	2015/5/14	2015/ 8/ 7	全層	0.4	75 20
キャベツ	YR 彩藍	2015/8/27	2015/11/19- /12/17	側条	2.0	75 40
サトイモ	早掘り 慣行 土垂	2016/4/26	2016/ 8/31	全層	2.5 (0.9) *1	130 *2 50
		2016/5/10	2016/10/25			
ネギ	夏扇パワー	2017/6/ 6	2017/10/31	側条	2.3	100 5

*1: サトイモの () 数値は追肥量を示す

*2: サトイモは 1 畝 2 条千鳥植え、畝間 130 cm, 条間 35 cm での栽培

あり、初年目土壌に対応できる作業技術が確立されているエダマメを選択し、次いでエダマメ収穫後の作付けが可能な秋冬どりキャベツを選択した。キャベツは進藤らの報告(進藤ら 2013)を基に肥効調節型肥料(N:P₂O₅:K₂O=25:6:12)を用いた側条施肥による無追肥での小畝立て栽培を行った。転換 2 年目は保水性の高い水田転換畑での栽培が推奨されており、マルチ展張による早期出荷体系が確立されているサトイモを 2 作型で作付した。転換 3 年目には畑地化の促進に伴う排水性改善や作土層の拡大を考慮し、ネギの栽培を実施した。ネギは大竹らの報告(大竹ら 2016)を基に、作溝チゼル付き施肥同時溝切り機と肥効調節型肥料(N:P₂O₅:K₂O=25:9:9)を用いた側条施肥による無追肥での栽培を行った。これら導入作物の耕種概要を表 1 に示す。

(2) 試験機の構成

エダマメ栽培はトラクタ(クボタ, KL31ZC, 23 kW) にアップカットロータリ(松山, APU1610H)と傾斜目皿式播種機(アグリテクノ矢崎, AFRG-2S)を 75 cm 間隔で 2 基取り付け、耕うん同時畝立て播種を行った。キャベツ栽培はトラクタ(クボタ, SL60C-PC, 44.1 kW)に水田用ハロー(ニプロ, HR2230-OS)と肥料散布機(タイショー, UH55R)を取り付け、条間 75 cm の設定で小畝立て同時側条施肥を行った。キャベツの定植は野菜用半自動移植機(クボタ, KP1E-60)でセル育苗苗を定植した。サトイモ栽培はトラクタ(クボタ, KL34R-PC, 出力: 25.0 kW)に種芋移植機(クボタ, TFP-200M)を取り付けて耕うん、畝立て、マルチ展張、定植を同時に行った。マルチフィルム(大倉工業, BU-30, フィルム幅: 135 cm)は 35 cm 間隔の 2 条スリット入り

を用いた。ネギ栽培はトラクタ(クボタ, SL38, 出力 27.9 kW)に作溝チゼル付き施肥溝切り機(マメトラ, R47)と肥料散布機(タイショー, PS-50F)を取り付け、条間 100 cm の設定で溝切り同時側条施肥を行った。ネギの定植は簡易移植器(日本甜菜製糖株式会社, HP-6)で行った。

3) 試験区の構成

試験区は明渠のみを施工した A 区、明渠と弾丸暗渠を施工した B 区を設置した。

4) 調査項目

(1) 土壌物理性

ほ場の碎土率(%: 2 cm 以下の土塊割合)と含水比(%: 105℃, 24 時間)は畝立てや植え溝切り作業直後の両区から土壌を採取して算出した。

また、水田転換ほ場では土壌物理性の変化を調査するため、作付け前後のほ場から土壌のサンプリングを行った。サンプリングは両区ともに対角線上の 3 か所で地表面を薄く削り、有機物を除いた作土層の土壌を 100 mL 試料円筒(直径 50 mm, 高さ 51 mm, 容積 100 mL)に 2 個ずつ行い、併せて同位置の土壌をプラスチック袋に採取した。土壌物理性は飽和透水係数(cm/sec)、塑性限界含水比(%)と pF1.8 含水比(%)を調査した。ほ場の畑地化を示す畑地化指標は塑性限界含水比を pF1.8 含水比で除して求めた(長野間 1997)。

また、2015 年 12 月 7 日には A 区と B 区の排水口側に深さ約 60 cm の試坑を掘り、土壌の断面調査を行った。土壌断面状態は土壌調査ハンドブック(大塚 2015)に基づいて構造、孔隙、貫入硬度計による緻密度(mm)、斑紋、活性二価鉄(ジピリジル反応)について記録した。

表2 土壌物理性の変化

試験区	採取時期	塑性限界 (%)	pF1.8 含水比 (%)	飽和透水係数 (cm/sec)	畑地化指標
A	2014/10	31.3	38.5	-6	0.82
	2015/4	39.6	41.2	-6~-7	0.91
	2015/8	27.7	33.6	-3~-6	0.82
	2016/4	29.3	35.7	-3~-4	0.83
	2016/10	34.1	33.6	-2~-3	1.01
	2017/5	32.0	32.3	-2~-6	1.00
	2017/11	35.4	37.1	-3~-7	0.96
B	2014/10	31.4	37.7	-6	0.84
	2015/4	35.6	37.9	-4~-7	0.94
	2015/8	32.3	32.3	-3~-4	1.00
	2016/4	29.8	36.1	-2~-4	0.83
	2016/10	33.1	30.9	-2	1.07
	2017/5	31.3	30.6	-3~-5	1.03
	2017/11	33.8	36.1	-5~-7	0.94

注：飽和透水係数は10の乗数のみを表示し、全調査サンプルの範囲を示す

(2) 作業精度

排水対策の違いが作業精度に与える影響について、エダマメ、キャベツ、サトイモ（早どり栽培のみ）で畝形状（畝幅・床幅・高さ：cm）、ネギで植え溝形状（溝幅・溝底幅・深さ：cm）、ネギを除く各作目の播種・定植時の株間（cm）と条間（cm：サトイモは畝間）を調査した。調査は各試験区とも3反復して平均値を算出した。なお、エダマメと早どり栽培のサトイモは両試験区の出芽率も調査した。

(3) 収量

各作目の収量は表1に記載した収穫日に坪刈り調査を行って求めた。

エダマメは主茎長（cm）、主茎節数、2節以上の1次分枝数、茎径（mm）、莢数を調査し、4粒莢・未熟莢・1粒莢・奇形莢・着色莢等を除いた良品を選別して莢重収量（kg/10a）を求めた。キャベツは収穫期（2015年11月19日～12月17日）に1週間間隔で球径が約15cm以上になった個体を収穫した。収穫したキャベツは球径（cm）と球高（cm）を基に結球緊度、外葉を2枚付けた状態の結球重（g）を基に収量（kg/10a）をそれぞれ算出した。サトイモは株を掘り出し、子芋（第1次分球）、孫芋（第2次分球）と孫々芋（第3次分球）に分離し、形状を基にA品・B品・規

格外品に分け、A品とB品は当該地区JA（庄内たがわ）の出荷規格を参考に商品収量（kg/10a）と質量別規格割合（%：3L, 130g ≥, 2L, 100 ≤ 129g, L, 70 ≤ 99g, M, 40 ≤ 69g, S, 20 ≤ 39g）を求めた。ネギは収穫した個体の盤茎部から根を切除して草丈を60cmに揃えて葉を切断し、本葉が約3枚残るように外葉を除去する調製作業を行った。調製されたネギは分岐長（cm）、葉鞘径（mm）、軟白長（cm）、商品収量（kg/10a）と規格茎割合（%：2L, 20 ≤ 25mm, L, 15 ≤ 20mm, M, 10 ≤ 15mm, S, ≤ 10mm）を求めた。

3. 結果および考察

1) 土壌物理性の変化

土壌物理性の変化を表2に示す。

塑性限界含水比はA区で27.7%～39.6%、B区で29.8%～35.6%、pF1.8含水比が32.3%～41.2%と30.6%～37.9%、飽和透水係数が両区とも 10^{-2} ～ 10^{-7} cm/sec、畑地化指標が0.82～1.01と0.83～1.07の範囲にあり、両区とも年次進行とともにpF1.8含水比と飽和透水係数が低下し、畑地化指標が1.0に近づいた。

転換初年目2作めキャベツ作付け後での両は場の土壌断面を図2と図3、断面調査の結果を表3に示す。

図2 キャベツ作付け後の土壌断面
(A区：2015/12/7)

図3 キャベツ作付け後の土壌断面
(B区：2015/12/7)

表3 試験ほ場の土壌断面調査結果

ほ場	層位	深さ (cm)	土性	構造	孔隙	緻密度 (mm)	斑紋	ジビリジル 反応
A	1	0-21	CL	屑粒状 5 mm・中	あり・細	4	なし	-
	2	21-30	CL	角塊状 15 mm・弱	あり・小	15	膜状・不鮮明・あり 管状・鮮明・含む	+
	3	30-41	CL	角塊状 30 mm・弱	あり	19	膜状・不鮮明・含む 管状・鮮明・あり	±
	4	41-61	SL	亜角塊状 5 mm・中	なし	nd	なし	+
B	1	0-21	CL	屑粒状 10 mm・中	あり・細	5	なし	-
	2	21-30	SCL	角塊状 10 mm	あり・細	19	膜状・鮮明・含む 管状・鮮明・あり	±
	3	30-39	SL	角塊状 20 mm	あり・細	21	膜状・鮮明・含む	±
	4	39-50	SL	角塊状 30 mm・弱	あり・細	17	膜状・鮮明・含む	±
	5	50-64	SL	亜角塊状 5 mm・中	なし	16	なし	±

注：調査日時，2015年12月7日

A区の土壌は4層に区分され，B区よりも浅い位置から礫の多い層が出現した。孔隙は1層が細（0.1～0.5 mm），2～3層が小（0.5～2.0 mm）であった。構造は1層が屑粒状（5 mm），2層と3層が角塊状（15 mm・30 mm），4層が亜角塊状（5

mm）であった。2層（21～30 cm）と3層（30～41 cm）では斑紋が散見されたが，B区と比較してその量は少なかった。緻密度は1層が4 mm，2層が15 mm，3層が19 mmであった。A区の2層と4層ではジビリジル反応が他層よりも強く表

表4 各試験区の作業状況

試験区	畝幅 (cm)				床幅 (cm)				高さ (cm)			
	15-G	15-C	16-T	17-W	15-G	15-C	16-T	17-W	15-G	15-C	16-T	17-W
A	64 (3.0)	64 (3.0)	88 (1.3)	71 (2.3)	34 (4.3)	47 (1.2)	65 (1.7)	24 (1.0)	19 (3.0)	13 (0.5)	23 (1.6)	22 (2.1)
B	65 (2.4)	63 (1.7)	89 (2.7)	70 (1.4)	36 (5.1)	38 (2.7)	66 (1.2)	25 (0.8)	18 (1.6)	12 (1.5)	23 (1.3)	22 (1.7)
T-Test	N・S	N・S	N・S	N・S	N・S	*	N・S	N・S	N・S	N・S	N・S	N・S

注1: 15-Gは2015年のエダマメ, 15-Cは2015年のキャベツ, 16-Tは2016年のサトイモ, 17-Wは2017年のネギを示す

注2: ネギは畝幅が溝幅, 床幅が溝底幅, 高さが溝深さを示す

注3: () 内数値は標準偏差を示す

注4: *は5%水準で有意差あり

表5 畝立て・作溝作業時の碎土率と含水比

試験区	碎土率 (%)				含水比 (% , D.B.)			
	15-G	15-C	16-T	17-W	15-G	15-C	16-T	17-W
A	88.0 (3.53)	95.0 (1.39)	90.5 (4.49)	78.4 (4.95)	30.1 (1.87)	21.4 (0.70)	30.8 (1.48)	32.0 (1.45)
B	82.7 (5.86)	95.1 (0.60)	91.7 (2.11)	72.2 (10.21)	29.2 (2.81)	19.3 (1.23)	25.2 (2.22)	32.1 (3.17)
T-Test	N・S	N・S	N・S	N・S	N・S	*	*	N・S

注1: 15-Gは2015年のエダマメ, 15-Cは2015年のキャベツ, 16-Tは2016年のサトイモ, 17-Wは2017年のネギを示す

注2: () 内数値は標準偏差を示す

注3: *は5%水準で有意差あり

れた。B区は5層に区分され、孔隙がA区よりも深い4層目まで確認でき、大きさがいずれも細(0.1~0.5 mm)であった。構造は1層が屑粒状(10 mm)、2~4層が角塊状(10~30 mm)であった。2層(21~30 cm)と3層(30~39 cm)は斑紋が散見され、4層(39~50 cm)が特に多かった。緻密度は1層が5 mm、2層が19 mm、3層が21 mm、4層が17 mmであった。B区のジピリジル反応は各層ともA区ほど強く表れなかった。

キャベツ作付け後の土壌断面調査では、A区で1層の層界が潤を示し、B区の土壌で斑紋が多く発生していた。A区はキャベツ作付け後も表層の水が排水されにくいことを示しており、水田の特徴が残っていた。B区の土層の斑紋は水の影響で還元状態となって可溶化した鉄やマンガンが再び酸化されて沈積・濃縮したものであるため、弾丸暗渠施工による亀裂が下層まで発生する土壌

構造の発達を示している。また、B区はA区よりも0.1~0.5 mmの細に該当する孔隙が深い位置まで確認されており、畑地化が進展していることが窺える。すなわち、B区は地表から50 cmの下層まで0.1~0.5 mmの孔隙が存在するなど通気性が良好であるため、A区よりも飽和透水係数とpF1.8含水比の低下が早くなるといった土壌構造の発達が進み、畑地化指標を早期に改善した。

2) 作業状態と生育・収量

(1) 作畝と作溝形状

各作業で作成された畝と植え溝の形状を表4、その際の碎土率と含水比を表5にそれぞれ示す。

エダマメの耕うん同時畝立て播種は畝幅がA区で64 cm、B区で65 cm、床幅が34 cmと36 cm、高さが19 cmと18 cm、作業時の碎土率が88.0%と82.7%、含水比が30.1%と29.2%であ

表6 各作目の播種・定植精度と出芽率

試験区	株間 (cm)			条間 (cm)			出芽率 (%)		
	15-G	15-C	16-T	15-G	15-C	16-T	15-G	15-C	16-T
A	18 (2.2)	41 (0.9)	45 (2.3)	83 (0.7)	76 (2.6)	135 (1.5)	88 (13.6)	—	98 (3.1)
B	19 (0.4)	42 (0.4)	45 (2.0)	74 (1.3)	76 (2.5)	134 (3.4)	93 (4.2)	—	95 (3.3)
T-Test	N・S	*	N・S	*	N・S	N・S	N・S	—	*

注1：15-Gは2015年のエダマメ、15-Cは2015年のキャベツ、16-Tは2016年のサトイモ栽培を示す

注2：() 内数値は標準偏差を示す

注3：*は5%水準で有意差あり

注4：15-Tの条間は畝間を示す

り、いずれも両区に差がなかった。キャベツの小畝立て側条施肥は畝幅がA区で64 cm、B区で63 cm、床幅が47 cmと38 cm、高さが13 cmと12 cm、作業時の碎土率が95.0%と95.1%、含水比が21.4%と19.3%となり、床幅と含水比で試験区間に5%水準で有意差が生じた。早どり作型でのサトイモのマルチ同時畝立ては畝幅がA区で88 cm、B区で89 cm、床幅が65 cmと66 cm、高さが両区とも23 cm、作業時の碎土率が90.5%と91.7%、含水比が30.8%と25.2%となり、含水比に5%水準で有意差が生じた。ネギの溝切り同時施肥は植え溝の溝幅がA区で71 cm、B区で70 cm、溝底幅が24 cmと25 cm、高さが両区とも22 cm、作業時の碎土率が78.4%と72.2%、含水比が32.0%と32.1%となり、いずれも両区に差がなかった。

作業時の含水比は転換初年目2作めのキャベツと転換2年目のサトイモで弾丸暗渠を施工したB区が低くなっており、暗渠施工による排水効果が確認できた。

転換初年目1作めエダマメの耕うん同時畝立て播種は、含水比が両ほ場とも約30%と高い状態での作業であった。しかし、作畝は碎土性に優れるアップカットロータリの使用で両区とも80%以上の碎土率が確保されたため、作業精度が同等であった。同2作めキャベツの小畝立て側条施肥はB区の含水比がA区よりも有意に低いため、作成された畝の床面端が崩れやすくなり床幅に差が生じた。転換2年目サトイモのマルチ同時畝立ては作業時の含水比が高かったため、作畝精度を確保する目的から0.04~0.05 m/sの作業速度で作業した。その結果、作成された畝は両区に差が

なかったが、片平ら（片平ら2010、片平ら2012）が行ったヤマノイモ栽培での実験結果と比較して床幅が狭く高さが高くなった。これは作業時の走行速度が遅かったため、畝成形機の前での土壌の滞留が多くなったことが要因である。転換3年目ネギの溝切り同時側条施肥は作業時の含水比が2015年と2016年よりも高く、植え溝の作成でロータリの耕深を深く設定する必要があったことから碎土率が低下した。しかし、両区は水田転換から3年を経過しては場の畑地化が促進したため、その状態でも70%以上の碎土率が確保されており、進藤ら（進藤ら2014）が実験を行った畑連作ほ場と同等の植え溝が作成できた。

(2) 播種・定植の精度と出芽率

各作目の播種・定植の精度と出芽率を表6に示す。なお、ネギは株間が一定のチェーンポットを用いた定植のため調査を割愛した。

エダマメは株間がA区で18 cm、B区で19 cm、条間が83 cmと74 cm、出芽率が88%と93%となり、条間に5%水準で有意差が生じた。キャベツは株間がA区で41 cm、B区で42 cm、条間が両区とも76 cmとなり、株間に5%水準で有意差が生じた。早どり作型のサトイモは株間が両区とも45 cm、畝間が135 cmと134 cm、出芽率が98%と95%となり、出芽率に5%水準で有意差が生じた。

転換初年目1作めエダマメは表2に示すとおり適度な含水比と高い碎土率のため、両区とも88%以上の出芽率を確保できた。出芽率はA区とB区に差がなかったが、A区の標準偏差は14%とB区よりも大きくなっており、排水性の違いが出芽率の変動に影響を及ぼした可能性があ

表7 エダマメの収量

試験区	主茎長 (cm)	主茎節数 (本)	分枝数 (本)	茎径 (mm)	莢数 (個 / 株)	莢重収量 (kg/10a)
A	40 (8.6)	11 (0.7)	3 (0.3)	10 (0.5)	48 (0.1)	935 (75.6)
B	45 (4.7)	12 (0.2)	4 (0.4)	10 (0.4)	43 (2.6)	732 (78.5)
T-Test	N・S	N・S	N・S	N・S	*	*

注1: () 内数値は標準偏差を示す

注2: * は5%水準で有意差あり

表8 キャベツの収量

試験区	結球重 (g)	球径 (cm)	球高 (cm)	結球緊度	収量 (kg/10a)
A	977 (241.2)	16.4 (1.64)	10.3 (1.04)	0.60 (0.040)	3178 (784.4)
B	1166 (774.1)	15.9 (2.03)	10.6 (1.11)	0.63 (0.040)	3684 (2445.6)
T-Test	N・S	N・S	N・S	*	N・S

注1: () 内数値は標準偏差を示す

注2: * は5%水準で有意差あり

る。なお、耕うん同時畝立て播種機は、傾斜目皿式播種機をロータリの後方に組み込んだ形式のため、作業機的全長が長くなっている。その結果、作業時にはトラクタの僅かな動作が作畝列の直進性に影響を与えるため、含水比の高いA区で作業時の安定性が低下して条間が広くなったと考えられる。2作めキャベツは定植を半自動移植機で行い、株間がB区で広くなった。これは定植作業時にA区の含水比がB区よりも高かったため、定植時に車輪の滑りが発生したことが要因と考えられる。ただし、森山ら（森山ら2000）は機械移植精度に対して碎土性の影響が大きく、細かい土塊が多い条件下で良好となることを示している。株間は両区とも高い碎土率によって標準偏差が0.4～0.9 cmと小さく安定していることから、その後の生育に与える影響が少ないといえる。転換2年目早どり作型でのサトイモは株間と条間に差がなかったが、植え付け深さは無培土栽培で必要とされる15 cmよりも浅くなっており、出芽が安定化する一方で緑化の懸念があった。そのため、その後の栽培では中耕による土壌の放擲で不足分

を補った。

(3) 各作目の収量

各作目の収量を表7～10にそれぞれ示す。

エダマメは主茎節数がA区で11節、B区で12節、分枝数が3本と4本、莢数が48個/株と43個/株、莢重収量が935 kg/10aと732 kg/10aであり、莢数と莢重収量に5%水準で有意差が生じた。キャベツは結球重がA区で977 g、B区で1,166 g、球径が16.4 cmと15.9 cm、球高が10.3 cmと10.6 cm、結球緊度が0.60と0.63、収量が3,178 kg/10aと3,684 kg/10aであり、結球緊度に5%水準で差が生じた。サトイモは商品収量が早どり作型のA区で3,026 kg/10a、B区で2,613 kg/10a、慣行作型で2,539 kg/10と2,364 kg/10aであり、両区に差がなかった。規格割合は最大値が早掘り作型のA区でMサイズの38.4%、B区でSサイズの36.6%、最小値がいずれも3Lサイズで0.9%と0.3%、慣行作型が両区とも最大値がMサイズで18.9%と18.7%、最小値が3Lサイズで1.8%と1.2%であり、両区に差がなかった。ネギは分岐長がA区で31 cm、B区で35 cm、軟白長が20 cm

表9 サトイモの収量と規格割合

試験区	商品収量 (kg/10a)	規格割合（％）						
		S	M	L	2L	3L	外	
早どり	A	3026	29.7	38.4	15.7	6.6	0.9	8.6
		(806.3)	(2.90)	(5.61)	(1.22)	(0.22)	(0.63)	(3.08)
	B	2613	36.6	34.9	14.9	2.9	0.3	10.6
		(153.3)	(0.81)	(0.00)	(1.62)	(2.42)	(0.40)	(1.21)
T-Test	N・S	N・S	N・S	N・S	N・S	N・S	N・S	
慣行	A	2539	10.6	18.9	9.6	4.1	1.8	55.0
		(36.5)	(1.63)	(0.02)	(0.76)	(2.98)	(2.10)	(2.67)
	B	2364	13.0	18.7	9.4	4.1	1.2	53.6
		(727.1)	(0.24)	(7.22)	(0.92)	(2.02)	(0.15)	(7.94)
T-Test	N・S	N・S	N・S	N・S	N・S	N・S	N・S	

注1：() 内数値は標準偏差を示す

注2：* は5%水準で有意差あり

表10 ネギの収量と規格割合

試験区	軟白長 (cm)	分岐長 (cm)	葉鞘径 (mm)	収量 (kg/10a)	規格割合 (%)			
					2L	L	M	S
A	20 (1.8)	31 (4.0)	19 (1.4)	4464 (2319.2)	20.0 (13.23)	68.3 (5.77)	11.7 (12.58)	— —
	26 (1.1)	35 (0.8)	21 (0.8)	7107 (70.8)	26.7 (5.77)	71.7 (2.89)	1.7 (2.89)	— —
T-Test	*	N・S	N・S	N・S	N・S	N・S	N・S	—

注1：() 内数値は標準偏差を示す

注2：* は5%水準で有意差あり

注3：規格割合のSサイズは該当なし

と26 cm、葉鞘径が19 mmと21 mm、収量が4,464 kg/10aと7,107 kg/10aであり、軟白長に5%水準で有意差が生じた。規格割合は両区とも最大値がLサイズで68.3%と71.7%、最小値がMサイズで11.7%と1.7%であり、両区に差がなかった。

転換初年目1作めエダメはB区がA区よりも莢重収量が低下した。作付けを行った2015年は5月10日から8月10日までの鶴岡市の積算降水量が期間をとおして194 mmであり、2011年から2014年の当該期間の232 mm～840 mmと比較して少ない状況にあった。そのため、排水対策を施したB区では暗渠施工による排水改善で畑地化が進展してほ場の有効水分量が減少したこと、畝立てによって播種部と地下水位との差が拡大したことから開花期に必要な水分を土壌中に溜

めることが困難になり、莢重収量が低下したと推察される。

2作めキャベツは栽培期間（2015年9月～11月）での月別平均気温の平年値との差の平均値が0.3℃、降水量が平年値比の平均値で93.0%となり、前作と異なり平年並みの気象条件であった。キャベツ作はエダメ作付け後の栽培で碎土率が高く、定植精度が両区とも良好で初期生育に差がなかったため、収量が同等になった。ただし、収穫日ごとの収穫割合の最大値はA区が12月10日に24.1%、B区が12月2日に25.8%であり、A区の生育が遅れていた。その結果、B区はA区と比較して結球部の締まりが良好となり、結球緊度に差が生じた。

転換2年目サトイモは栽培期間（2016年4月

～10月)での月別平均気温の平年値との差の平均値が1.2℃、降水量が平年値比の平均値で98.4%となり、平年並みの気象条件であった。サトイモ作では畑地化が促進しており、かつ水分ストレスの強い作目であったため、早どりと慣行の両作型で商品収量、規格割合ともに同等であった。なお、慣行作型は早どり作型よりも栽培期間が長いため、子芋や孫芋などの個体質量が早どり作型よりも1.15倍に増加した。それに伴い子芋では形状の悪化、孫芋では緑化した個体が増加したことで規格外品の割合が高くなった。

転換3年目ネギは栽培期間(2017年6月～11月)での月別平均気温の平年値との差の平均値が0.1℃、降水量が平年値比の平均値で96.8%となり、平年並みの気象条件であった。ネギ作では商品収量に差がなかったが、A区の標準偏差は2319.2 kg/10aと大きくなった。A区は転換3年目で畑地化の促進が進んだが、ほ場は弾丸暗渠が施工されていないため、土壌構造の発達には場内でばらつきが生じて表面水の滞水時間に差をつけたと考えられる。ネギは植え溝を作成して栽培するため、地下浸透量が少ない場合に植え溝に水が滞水する時間が長くなり、畝立てをするエダマメ、キャベツ、サトイモよりもその影響が強くなる。その結果、A区では商品収量の変動が大きくなり、最終培土時の土量が不足して軟白長が短くなった。

(4) 日本海側水田転換ほ場での機械化作業体系

日本海側の水田転換ほ場では作業機械や露地野菜の導入に際し、粘土含量が砂質埴土(SC)より高いほ場の場合、周囲に明渠を施工して周辺からの漏水対策や表面排水を良好にするとともに、弾丸暗渠施工で土壌構造の発達を促進させて排水性を確保する必要がある。ただし、本実験のように砂質埴壤土(SCL)から埴壤土(CL)に位置するほ場では、明渠のみの施工でも排水性と土壌構造の発達を確保できる可能性がある。

以上のような排水対策を施したほ場では、転換初年目に砕土率の確保と湿害回避の観点からアップカッターロータリを用いたエダマメの耕うん同時畝立て栽培が有効であるが、降水量が少ない気象条件下では生育の停滞を引き起こすことがあるので留意する必要がある。2作目以降ではアップカッターロータリによる砕土性の改善を鑑み、水田用ハローの利用で畝立て作業を効率化できる小畝立て栽培に適したキャベツなどの作目の導入が

有効である。また、土壌構造は弾丸暗渠の施工で早期に発達するため、2年目以降で土壌物理性の改善で確保される広範な作土層を活用し、ダウンカット式ロータリを活用したサトイモの畝立てマルチ同時移植やネギの溝切り同時側条施肥などの作目と作業技術を導入することでは場を有効に利用できる。

謝辞

本研究は山形大学農学部早川弘夢氏と本間英治氏、同生産機械研究室、株式会社南東北クボタ、秋田県農業試験場の各位から多大な協力をいただいた。関係各位に謹んで謝意を表す。

引用文献

- 藤原隆広・吉岡宏・佐藤文生(2000): 畝内条施肥におけるキャベツの生育と雑草発生に及ぼす影響, 農作業研究 35(1); 25-32.
- 後藤克典(2011): 小畝立て深層施肥播種による大豆収量の向上, 機械化農業 3111号; 4~7.
- 細川寿(2004): 大豆の耕うん同時畝立て作業機による重粘土転換畑の湿害回避技術, 農機誌 66(5); 14-16.
- 片平光彦・太田健・新山徳光・舩谷雅弘・小笠原伸也・久米川孝治・渋谷功・鎌田易尾(2004): 重粘土水田転換圃場での野菜の機械化作業技術(第1報), 農機誌 66(5); 90-96.
- 片平光彦・上田賢悦・進藤勇人・阿部浩・小林由喜也(2010): 種芋移植機を用いたツクネイモ定植作業の省力化技術(第1報), 農機誌 72(2); 169-176.
- 片平光彦・進藤勇人・上田賢悦・鈴木基・小林由喜也(2012): 種芋移植機を用いたツクネイモ定植作業の省力化技術(第2報), 農機誌 74(3); 220-225.
- 森山友幸・姫野修一・井出治(2000): キャベツの機械移植栽培における土壌および移植条件が生育、収量に及ぼす影響, 福岡県農業総合試験場研究報告 19; 45-48.
- 長野間博(1997): 畑地化指標, 日本土壌肥料学会, 土壌環境分析法, 博友社, 東京, pp.43-45.
- 農林水産省(2016): 作物統計(平成29年産), <http://www.maff.go.jp/j/tokei/kouhyou/sakumotu/menseki/index.html> (2018年10月19日閲覧).

- 大竹智美・進藤勇人・齋藤雅憲・本庄求・片平光彦・夏賀元康 (2016)：施肥溝切り機を用いたネギ栽培における生産性改善に関する研究 (第2報), 農食工誌 78(4)：317-325.
- 大塚鐵男 (2015)：土壌断面の記載, 日本ペドロジー学会編, 土壌調査ハンドブック改訂版, 博友社, 東京, pp.51-99.
- 進藤勇人・伊藤恒徳・齋藤雅憲・三浦恒子・藤村辰夫 (2013)：秋冬キャベツにとける畝内条施肥の雑草発生抑制効果, 秋田県農業試験場研究時報 53：15.
- 進藤勇人・大竹智美・片平光彦・本庄求・齋藤雅憲・夏賀元康 (2014)：施肥溝切り機を用いたネギ栽培における生産性改善に関する研究 (第1報), 農食工誌 76(6)：533-540.
- 鶴岡市 (2018)：鶴岡市水田フル活用ビジョン, <https://www.city.tsuruoka.lg.jp/sangyo/nourinsuisan/nousei01.files/kouhyouban0.pdf> (2018年11月26日閲覧)
- 山形県 (2011)：あなたの田んぼを宝の山に!, <https://www.pref.yamagata.jp/ou/norinsuisan/140029/nouchifull/1-2PDF/hyoushi.pdf> (2018年10月30日閲覧).

Abstract

This paper presents discussion of the influences of soil physical properties and power farming system on field vegetable cultivation by different drainage systems on upland fields converted from paddy fields near the Sea of Japan. Conversion of paddy fields with open ditches and mole drains to upland fields (B block) quickly and markedly improved soil physical properties, specifically the water permeability

coefficient and uplandization index, compared to another field with an open ditch for soil structure development (A block). Green soybean yields of first-year cultivation were 935 kg/10 a for A block and 732 kg/10 a for B block. Respective cabbage yields of second cultivation for the first year were 3,178 kg/10 a and 3,684 kg/10 a. Taro yields of second-year cultivation were 3,026 kg/10 a and 2,613 kg/10 a for quickly cultivated type and 2,539 kg/10 a and 2,364 kg/10 a for normal cultivation type. Welsh onion yields of third year cultivation were 4,464 kg/10 a and 7,107 kg/10 a. Upland fields converted from paddy near the Sea of Japan should have an open ditch and mole drain before vegetable cultivation. Then, first-year cultivation on upland fields can be expected to introduce green soybean using rotary tilling and a ridge-making implement by up-cut rotary processing, which can increase the pulverization rate and decrease water damage. Next, cultivation should introduce cabbage using rotary tilling and a small ridge-making implement, which might have a high work rate. From the second year, cultivation of upland fields should include taro and welsh onions using the ridge and mulching transplanter cultivation method, and a side-dressing fertilizer applicator ditcher cultivation method for wider use of the plow layer by the improvement of soil physical properties.

Key Words

field vegetables, power farming system, Sea of Japan, soil physical properties, upland field conversion from paddy