

黒ボク土の水田転換畑におけるプラウ耕がトウモロコシの生育および子実収量に及ぼす影響

篠遠善哉^{1,2)}・松波寿典¹⁾・大谷隆二¹⁾・冠秀昭¹⁾・丸山幸夫³⁾

(¹⁾ 農研機構東北農業研究センター, (²⁾ 筑波大学大学院生命環境科学研究科, (³⁾ 筑波大学生命環境系)

要旨：黒ボク土の水田転換畑にて、プラウ耕がトウモロコシの生育および子実収量に及ぼす影響を明らかにした。試験は、黒ボク土の水田転換畑にロータリ区およびプラウ区を設け、2014年および2015年の5月下旬にトウモロコシ2品種を播種して実施した。絹糸抽出期がプラウ区で1～2日早まったが、草高、葉色値および葉面積指数に耕起法による顕著な差はみられなかった。2ヶ年ともに根長密度に耕起法による差は認められなかったが、雄穂形成期から乳熟期までプラウ区でやや大きい傾向がみられた。地上部乾物重は、2014年のみ乳熟期および糊熟期にロータリ区よりプラウ区で大きい傾向がみられた。子実収量について、2014年はロータリ区と比較してプラウ区で高い傾向が認められたが、2015年は耕起法による差はみられなかった。しかし、2015年の子実収量は2014年より22%高かった。これは絹糸抽出期から絹糸抽出後2週間の積算日照時間が2014年で平年比48%と寡照であったこと、2015年は気象条件に恵まれ子実収量が多くなったことによると推察された。以上のように、黒ボク土の水田転換畑におけるプラウ耕は慣行耕起法であるロータリ耕と比較して生育の抑制や子実収量の低下を引き起こさないことから、水田転換畑における子実用トウモロコシ栽培ではプラウ耕でも十分に対応できることが明らかとなった。

キーワード：黒ボク土、子実収量、水田転換畑、生育、トウモロコシ、根、プラウ耕、ロータリ耕。

わが国では、米消費量の減少や米価の下落に伴って水稻作付面積が減少し続けている。一方、2015年に策定された「食料・農業・農村基本計画」では、2025年度までに純国内産飼料自給率を40%に引き上げることが公表されており、飼料の増産が求められている。特に、毎年約1000万トン輸入されている飼料用トウモロコシ子実を国内で生産していく必要があると考えられる。そこで、水田の利活用および飼料増産という背景から飼料用トウモロコシ子実の水田輪作への本格的な導入が期待される。

飼料用トウモロコシ子実は子実用トウモロコシと呼ばれ、サイレージ用トウモロコシを既存の方法で栽培し、通常の収穫期には収穫せず、雌穂が完熟して子実水分が低下するのを待ってから子実を収穫し、畑に残った茎葉を鋤込む栽培体系（尾崎 2015）と定義されている。農林省農林経済局統計調査部の農林水産統計によると1960年代まで北海道を中心に全国で子実用トウモロコシは最大約5万ha栽培されていた。しかし、子実用トウモロコシの10a当たりの収量は300 kg未満と低く（農林省農林経済局統計調査部 1968）、安価な輸入子実用トウモロコシに押されて国内で子実用トウモロコシはほとんど栽培されなくなった。しかし、近年、北海道の道央地域では小麦の連作障害回避のため新規転作作物として子実用トウモロコシが水田転換畑に導入され始めている（濱村ら 2011）。また、水稻、小麦および大豆を輪作している北海道のような大規模水田地帯では小麦および大豆収穫で使われている外国製普通コンバインのヘッダを交換して子実用トウモロコシを収穫でき、

子実用トウモロコシの乾燥には米麦用循環式乾燥機が活用可能であることが明らかにされている（稲野ら 2011）。加えて、近年では子実収量性の高い品種が開発され子実用トウモロコシの収量は10a当たり900～1000 kg程度まで期待できるようになった（濱村ら 2011）。以上のような、農業機械の汎用利用や子実収量性の向上に加えて、輸入子実用トウモロコシの価格上昇傾向もあり、大規模水田輪作地帯の水田転換畑で子実用トウモロコシ栽培の導入が始まっている。

これまで、畑地のサイレージ用トウモロコシ栽培ではプラウ耕が慣行耕起法であった（林ら 2009, 小林 2012）が、わが国の水田転換畑では慣行耕起法としてロータリ耕が定着しており、プラウ耕はこれまでほとんど使われてこなかった。その要因は、耕起と碎土を同時に行え、代かきまで利用でき、取り扱いも容易なロータリ（後藤 1997）が、1960年以降に水田地帯を中心に普及した（中 1981）ためである。しかし、近年の大規模経営ではロータリ耕より高速作業が可能なプラウ耕を水田で導入する事例が増えており、水田転換畑での子実用トウモロコシ栽培ではプラウ耕が主要な耕起法となる可能性が高い。また、わが国の水田転換畑でのトウモロコシ栽培に関する研究はサイレージ用が主であったため、茎葉もしくは雌穂乾物重が収量として用いられ、子実収量に関してはほとんど報告されてこなかった（青田・星野 1978, 菅野ら 2014）。以上のことから、水田転換畑での子実用トウモロコシ栽培を広めていくには、慣行耕起法であるロータリ耕と比較して水田転換畑で

プラウ耕を導入した際の子実用トウモロコシの収量性を明らかにする必要がある。

そこで本研究では、黒ボク土の水田転換畑において、慣行耕起法であるロータリ耕と比較して、プラウ耕がトウモロコシの生育および子実収量に及ぼす影響を明らかにした。なお、本研究ではプラウ耕にチゼルプラウを用いた。

材料と方法

1. 栽培概要と試験区の設定

試験は、熟期の異なるトウモロコシ (*Zea mays* L.) を2品種 (パイオニア 108 日; 34N84, パイオニア 115 日; 34B39) 供試し、2014 年および2015 年に東北農業研究センター内の多湿黒ボク土の水田転換畑 (岩手県盛岡市、前作代かき移植水稻跡) で実施した。東北部の水田転換畑での子実用トウモロコシ栽培を想定し、水稻移植期後の5月下旬から6月上旬に播種した際でも11月上旬までに成熟期に到達する品種として前述の2品種を供試した。

試験区は、ロータリ区およびプラウ区を設けた。ロータリ区は、28馬力のトラクタ (GL280, クボタ社製) に装着したロータリ (RL6G, クボタ社製) を用いて耕深 20 cm とした。プラウ区は、85馬力のトラクタ (TJ85CFS1GQCY, イセキ農機社製) に装着したチゼルプラウ (MSC6PSQLK, スガノ農機社製) を用いて耕深 20 cm で粗耕起した後、縦軸駆動ハロー (BETA230SP, スガノ農機社製) に脱着後、表層 5 cm を耕起した。2014 年はロータリ区およびプラウ区をそれぞれ1反復 (48 m × 7 m) 設け、各耕起区内に各品種を1区ずつ設けた (24 m × 7 m)。2015 年は18 a (38 m × 48 m) を3分割して、各ブロック内にロータリ区およびプラウ区を設け (38 m × 8 m)、さらに、各耕起区内に各品種を1区ずつ設けた (19 m × 8 m)。各耕起区1反復当たりの試験区面積は2014 年が 336 m² (48 m × 7 m)、2015 年が 304 m² (38 m × 8 m) であった。なお、2014 年および2015 年の試験はそれぞれ異なる圃場で実施した。

2014 年5月30日、2015 年5月29日にそれぞれ条間 75 cm、株間 21 cm で目皿交換式大粒播種機 (PL-110, みのる産業社製) を用いて2~3粒播種し、播種時に播種機の鎮圧輪により鎮圧した。播種後14日に間引きを行い、一本立てとした。基肥は、化成肥料 (15-20-15) を N, P₂O₅, K₂O の成分でそれぞれ 15, 20, 15 g m⁻² 施用した。播種後に除草剤はジメテナミド・リニュロン剤を、殺虫剤はダイアジノン剤を処理した。

気象データは、東北農業研究センター内気象観測所の降水量、日平均気温および日照時間を用いた。

2. 調査方法

土壌貫入抵抗値は2014 年5月31日に貫入式抵抗計 (DIK-5521, 大起理化工業社製) を用いて深さ 20 cm までロータリ区およびプラウ区それぞれ3ヶ所ずつ測定した。

第3葉期、第5葉期、第10葉期、絹糸抽出期、水熟期

にそれぞれ草高および葉色を各反復で生育中庸な 30 株 (2014 年) もしくは 5 株 (2015 年) について調査した。葉色 (SPAD 値) は、葉緑素計 (SPAD502 Plus, コニカミノルタ社製) を用いてカラーの確認ができた最上位展開葉の葉身中央部を測定した。ただし、絹糸抽出期および水熟期ではそれぞれ着雌穂節位葉の葉色を測定した。第3葉期 (播種後 25 日)、雄穂形成期 (2014 年; 播種後 47 日、2015 年; 播種後 48 日)、絹糸抽出期 (播種後 63 日)、乳熟期 (播種後 80 日)、糊熟期 (播種後 101 日) に各反復で生育中庸な 18 株 (2014 年; 第3葉期~糊熟期) もしくは 3 株 (2015 年; 第3葉期~糊熟期) を地際より抜き取り、葉身、葉鞘および稈、雌穂 (苞葉含む; 乳熟期、糊熟期に採取) に分解し、80℃で2日間乾燥後に各器官別の乾物重を秤量した。成熟期 (2014 年; 播種後 132 日、2015 年; 播種後 133 日) には各反復で生育中庸な 30 株 (2014 年) もしくは 5 株 (2015 年) の地上部乾物重を糊熟期までと同様の方法で調査した。抜き取る個体は、最低でも外周1条に欠株や生育不良などの群落構造の乱れがない箇所から選抜した。絹糸抽出期前後の個体群成長速度は雄穂形成期 (絹糸抽出前約 15 日) および乳熟期 (絹糸抽出後約 17 日) の地上部乾物重の差から日数を除して算出した。抜き取った個体のうち各反復 6 株 (2014 年) もしくは 1 株 (2015 年) の葉面積を葉面積計 (AAM-9, 林電工社製; LI-3100C, LICOR 社製) で測定し、比葉面積を算出し、残りの株の葉面積を求めた。地上部サンプリング株を中心に条に直交して 40 cm (幅) × 21 cm (長さ) × 20 cm (深さ) の土壌をそれぞれ掘り出し、丁寧に土壌を洗い流した後、根を茎から切り離した。各反復 6 株 (2014 年) もしくは 1 株 (2015 年) の根は根長の分析に供試するため 70% エタノール水溶液で保存し、残りの株は 80℃で2日間乾燥後に乾物重を測定した。保存した根はフィルムスキャナー (Epson expression 1680; Epson expression 4870, Epson 社製) を用いて、読み込みの設定を 8 ビットグレースケール、画像のドット密度を 1000 dpi とし、TIFF 画像で保存した。画像は、根解析ソフト (WinRhizo, Regent Instruments 社製) を用いて解析し、根長を計測した後、単位根乾物重当たりの根長で表される比根長を算出して残りの株の根長を求めた。

成熟期に各反復当たり 6ヶ所もしくは 1ヶ所の隣接する 3 条を 1.5 m の長さ (3.4 m²) で坪刈りして全株を脱穀した後、粒数、百粒重および子実収量を計測した。さらに、成熟期に地上部乾物重調査用に抜き取った株について雌穂長を測定した。穀物水分計 (PM750, ケット科学研究所社製) で子実水分を測定し、子実収量は水分 15% 換算とした。

3. 統計解析

本試験ではトウモロコシを2品種供試したが、これは耕起処理の効果が特定の品種についてのみ得られるものではないことを確認するためである。2014 年は供試2品種について、ロータリ区、プラウ区それぞれ1反復の平均値を示

第1表 2014年および2015年の旬別の降水量、平均気温、日照時間。

月	旬	降水量 (mm)			平均気温 (℃)			日照時間 (hr)		
		2014年	2015年	平年	2014年	2015年	平年	2014年	2015年	平年
6月	上	9	14	23	20.7	16.9	16.7	67	68	60
	中	41	67	36	19.0	19.4	18.0	23	54	49
	下	23	43	48	20.8	19.1	18.7	67	50	46
7月	上	193	4	69	22.2	20.4	19.9	53	66	38
	中	43	8	73	21.9	23.7	20.9	34	52	32
	下	27	97	55	23.9	25.8	22.8	82	55	50
8月	上	81	1	51	24.5	26.1	23.7	30	76	50
	中	110	82	55	22.3	22.9	23.1	14	40	42
	下	46	64	76	21.4	19.3	22.0	45	14	47
9月	上	27	39	53	20.0	19.8	20.5	47	22	43
	中	12	63	64	16.1	17.9	18.3	61	44	36
	下	57	4	17	15.1	16.1	14.9	72	66	21
10月	上	51	93	38	13.1	13.4	13.8	59	54	43
6-10月		720	579	658	20.1	20.1	19.5	654	661	555

平年値の統計期間：1981～2010年（降水量・平均気温）、1997～2010年（日照時間）。

した。2015年については、品種と耕起に関する2元配置、3反復の分散分析を実施した。統計解析は統計解析ソフト（JMP11.2.0, SAS Institute Inc.）を用いて行った。

結 果

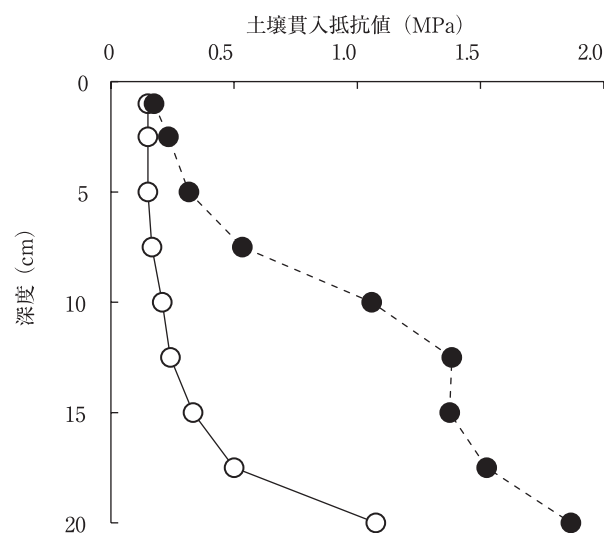
1. 気象概況および土壌貫入抵抗値

2ヶ年の生育期間中の気象概況を第1表に示した。生育期間中の気象の特徴について、2014年は平年より多雨、絹糸抽出期前後の8月上旬に寡照であり、2015年は平年より少雨、絹糸抽出期の8月上旬に多照であった。各年次について詳しくみると、2014年の6月中旬から7月下旬の梅雨期の降水量は、低気圧や台風第8号の影響で7月上旬に平年比280%であった。2015年は、東北部の梅雨入りがかなり遅く6月26日頃（気象庁2015）であり、6月中旬から7月下旬の梅雨の降水量は平年比78%と平年以下の少雨であった。8月上旬および中旬の平均気温は2014年より2015年でそれぞれ1.6、0.6℃高かった。2014年の8月上旬から中旬の積算日照時間は44時間と平年比48%であったが、2015年では116時間と平年比126%であった。8月上旬から中旬の積算日照時間は2015年と比較して2014年では38%と短かった。

2014年の土壌貫入抵抗値を第1図に示した。ロータリ区およびプラウ区ともに深さ5cm程度までは0.2～0.3MPaで推移したが、深さ5cmより深くなるにつれプラウ区で土壌貫入抵抗値が大きくなった。深さ7.5、10、12.5cmの土壌貫入抵抗値はロータリ区では0.2MPaで推移したのに対してプラウ区では0.5、1.1、1.4MPaであった。

2. 生育

絹糸抽出期は、2014年にロータリ区、プラウ区それぞれ



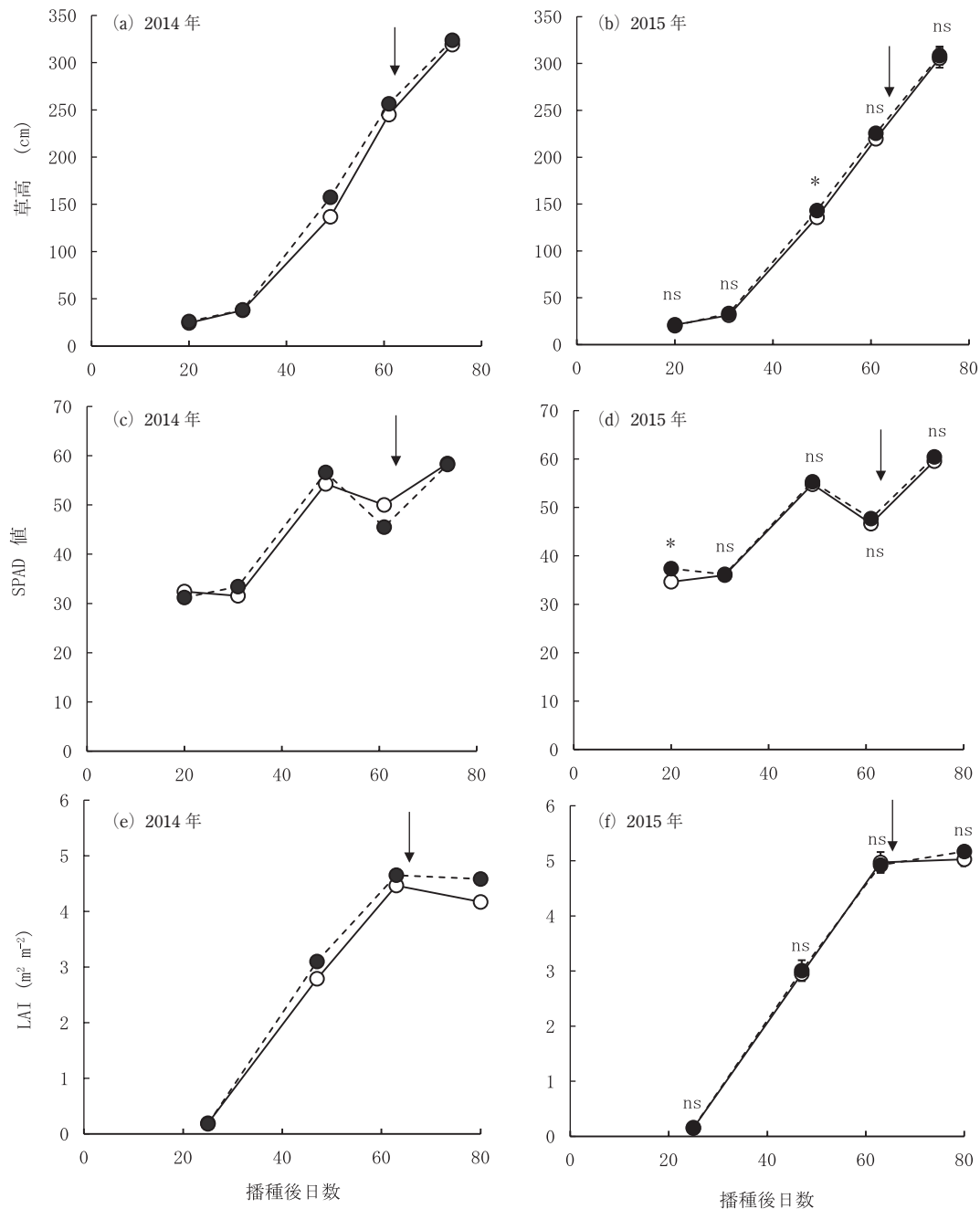
第1図 耕起法の違いが土壌貫入抵抗値に及ぼす影響。

○：ロータリ，●：プラウ。

3ヶ所の平均値。

播種後66、64日、2015年ではロータリ区、プラウ区それぞれ播種後67、66日であり、2ヶ年ともロータリ区よりプラウ区で絹糸抽出期は1～2日早かった。

2ヶ年の生育を第2図に示した。統計解析をした結果、耕起処理について各品種で同様の傾向が2年間示されたため、品種の結果については両品種の結果をあわせて示した。草高が最大となる水熟期に耕起法の差は2ヶ年ともみられなかった。葉色値（SPAD値）は、2014年では耕起法による顕著な差はみられなかった。2015年の第3葉期（播種後20日）のプラウ区のSPAD値はロータリ区（35）よりプラウ区（37）で高かったが、それ以降の生育時期に耕起法によ



第2図 耕起法の違いが草高、SPAD 値および葉面積指数 (LAI) に及ぼす影響。

○：ロータリ，●：プラウ。

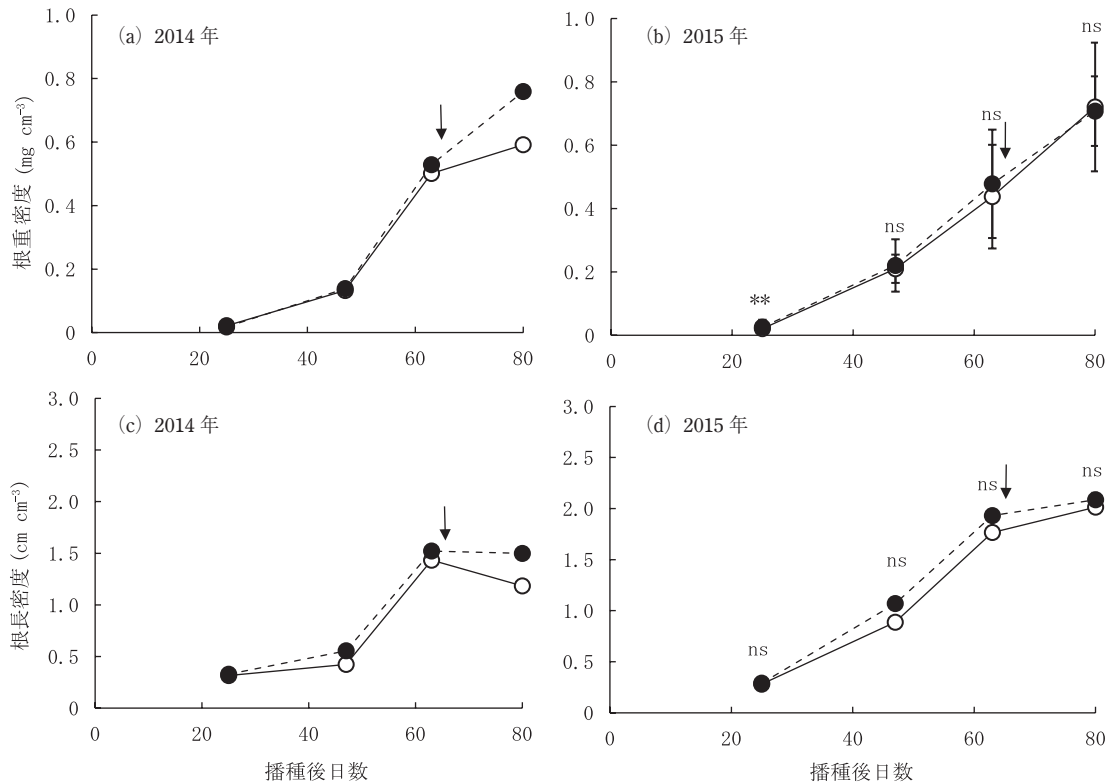
図中の縦棒は標準誤差を示す (n=6)。*：5%水準で耕起処理について有意，ns；5%水準で耕起処理について有意差なし (n=6)。図中の矢印は絹糸抽出期を表す。

る差はみられなかった。葉面積指数 (LAI) は、全生育期間を通して2ヶ年とも耕起法間に明瞭な差はみられなかった。

根重密度および根長密度の推移を第3図に示した。2014年の乳熟期 (播種後80日) の根重密度はロータリ区よりプラウ区で大きい傾向であったが、2015年では生育期間を通じて根重密度に耕起法による差はみられなかった。2014年および2015年ともに根長密度に耕起法による有意な差はみられなかったが、雄穂形成期 (播種後47~48日) から乳熟期 (播種後80日) にロータリ区よりプラウ区でや

や大きい傾向がみられた。特に、2014年の乳熟期 (播種後80日) の根長密度はロータリ区よりプラウ区で大きい傾向であった。また、2015年の雄穂形成期、絹糸抽出期および乳熟期の根長密度はそれぞれ2014年比200%、125%、152%と2015年で大きい傾向であった。

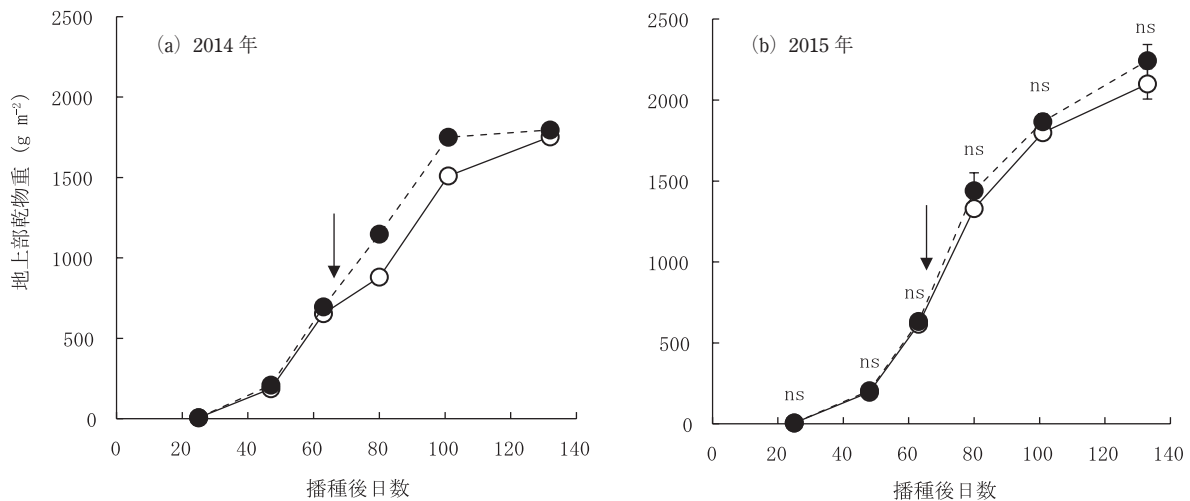
地上部乾物重の推移を第4図に示した。2ヶ年とも絹糸抽出期の地上部乾物重に耕起法による差はみられなかった。しかし、2014年では、乳熟期 (播種後80日) および糊熟期 (播種後101日) にロータリ区よりプラウ区で地上



第3図 耕起法の違いがトウモロコシの根重密度および根長密度に及ぼす影響。

○：ロータリ，●：プラウ。

図中の縦棒は標準誤差を示す (n=6)。**：1%水準で耕起処理について有意，ns：5%水準で耕起処理について有意差なし (n=6)。図中の矢印は絹糸抽出期を表す。



第4図 耕起法の違いがトウモロコシの地上部乾物重に及ぼす影響。

○：ロータリ，●：プラウ。

図中の縦棒は標準誤差を示す (n=6)。ns：5%水準で耕起処理について有意差なし (n=6)。図中の矢印は絹糸抽出期を表す。

部乾物重が大きい傾向であった。

3. 絹糸抽出期前後の個体群成長速度，純同化率および平均葉面積指数

絹糸抽出期前後（雄穂形成期～乳熟期）の個体群成長速

度（CGR），純同化率（NAR）および平均葉面積指数（平均 LAI）を第2表に示した。2014年の CGR および NAR はロータリ区よりプラウ区で大きい傾向であった。平均 LAI に耕起法による明らかな差がみられなかったことから、2014年にプラウ区で CGR が増加した要因は NAR の向上

第2表 絹糸抽出期前後の個体群成長速度 (CGR), 純同化率 (NAR) および平均葉面積指数 (平均 LAI).

年次	品種	耕起処理	CGR ($\text{g m}^{-2} \text{ day}^{-1}$)	NAR ($\text{g m}^{-2} \text{ day}^{-1}$)	平均 LAI ($\text{m}^2 \text{ m}^{-2}$)
2014	34N84	ロータリ	21.4	6.2	3.4
		プラウ	28.7	7.0	4.1
	34B39	ロータリ	20.7	5.8	3.7
		プラウ	28.1	7.5	3.8
2015	34N84	ロータリ	35.5	9.4	3.8
		プラウ	37.4	9.0	4.1
	34B39	ロータリ	35.4	8.8	4.0
		プラウ	39.8	10.3	3.9
分散 分析	品種		ns	ns	ns
	耕起		ns	ns	ns
	品種 × 耕起		ns	ns	ns

ns は 5% 水準で有意差がないことを示す (n=3).

よることが示された. 2015 年の CGR, NAR および平均 LAI に耕起法による差はみられなかった.

4. 子実収量および収量構成要素

子実収量および収量構成要素を第3表に示した. 子実収量は, 2014 年にはロータリ区よりプラウ区で 12~24% 高かったが, 2015 年には耕起法による差は認められなかった. 2014 年より 2015 年の子実収量が 22% 多い傾向であった. 収量構成要素についてみると, 雌穂長, 百粒重および粒数に耕起法の差はみられなかった. ただし, 2014 年より 2015 年の粒数が多い傾向であった.

子実収量および収量構成要素の関係を第4表に示した. 子実収量は粒数との間に 5% 水準の有意な正の相関関係が認められた.

5. 絹糸抽出期前後の個体群成長速度および乳熟期の根長密度の関係

絹糸抽出期前後の個体群成長速度および乳熟期の根長密度の関係を第5図に示した. 両者には 1% 水準で有意な正の相関関係が認められた.

考 察

1. 生育

トウモロコシの草高, SPAD 値および LAI は 2 年間ともに耕起法による差はみられなかった (第2図) ことから, プラウ耕はロータリ耕と同程度の生育を確保できることが明らかとなった. 加えて, 絹糸抽出期についてみると, ロータリ区よりプラウ区で 1~2 日早く, プラウ耕により生育がやや前進すると考えられた. トウモロコシの北限地帯では, 出芽期から第4葉期の地上部乾物増加速度が登熟期間の雌穂の成長に大きな影響を及ぼす (吉良 1985). 東北北部の水田転換畑にて子実用トウモロコシを栽培する場合,

第3表 耕起法の違いがトウモロコシの子実収量および収量構成要素に及ぼす影響.

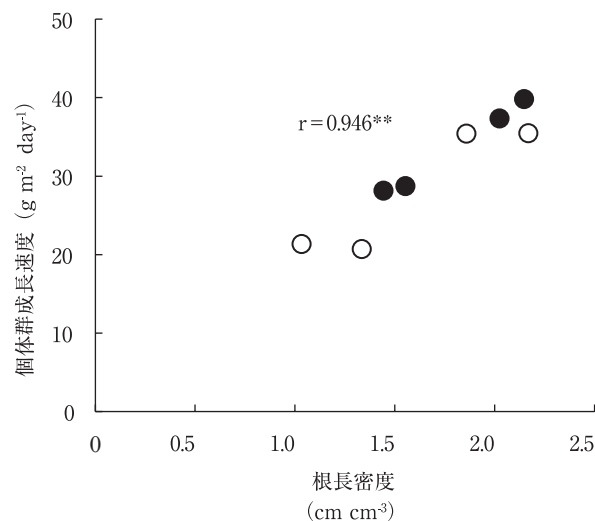
年次	品種	耕起処理	雌穂長 (cm)	粒数 (m^{-2})	百粒重 (g)	子実収量 (g m^{-2})
2014	34N84	ロータリ	16.3	2668	30.5	815
		プラウ	16.5	3006	30.2	909
	34B39	ロータリ	18.6	2613	31.8	830
		プラウ	17.0	3014	34.1	1026
2015	34N84	ロータリ	17.8	3315	32.4	1077
		プラウ	18.1	3537	32.9	1163
	34B39	ロータリ	20.8	3395	32.4	1099
		プラウ	20.5	3297	31.0	1022
分散 分析	品種		**	ns	ns	ns
	耕起		ns	ns	ns	ns
	品種 × 耕起		ns	ns	ns	ns

** は 1% 水準で有意であること, ns は 5% 水準で有意差がないことを示す (n=3).

第4表 子実収量および収量構成要素の相関係数.

	子実収量	雌穂長	粒数	百粒重
子実収量	1.000			
雌穂長	0.237	1.000		
粒数	0.870**	0.338	1.000	
百粒重	0.639*	-0.020	0.177	1.000

*, ** はそれぞれ 5, 1% 水準で有意であることを示す (n=14).



第5図 絹糸抽出期前後の個体群成長速度および乳熟期の根長密度の関係.

○: ロータリ, ●: プラウ.

** : 1% 水準で有意 (n=8).

水稲移植期後の 5 月下旬から 6 月上旬が播種時期になると予想され, 慣行のトウモロコシ播種適期である 5 月上中旬より晩播になると考えられる. 子実用トウモロコシは成熟期に収穫されるため, 黄熟期に収穫されるサイレージ用ト

ウモロコシより長い生育期間を必要とする。したがって、ロータリ耕と同程度の生育を確保でき、さらに絹糸抽出期を早めるプラウ耕は生育期間の短い東北地域や北海道の水田転換畑で子実用トウモロコシを栽培する際に有利であると考えられる。

雄穂形成期から乳熟期の根長密度に耕起法の有意差は認められなかったものの、ロータリ区よりプラウ区でやや大きい傾向が認められた（第3図c, d）。耕起と碎土を同時に行えるロータリ（後藤 1997）は本試験の場合、耕深 20 cm まで碎土できるが、チゼルプラウは作土をけん引づめで破碎し膨軟にするのが、主な役割（農業機械学会 1996）であり、ロータリ耕と同程度の碎土性は期待できない。そのため、縦軸駆動ハローで碎土された表層 5 cm より下層では、碎土されていない土塊がロータリ区よりプラウ区で多く存在している。これは、深さ 5 cm 以深の土壤貫入抵抗値がロータリ区と比較してプラウ区で急激に大きくなっていること（第1図）からも推察できる。イネ科作物の中でトウモロコシの根の圧縮土層への貫通力は小さいこと（田中丸ら 1998）から、プラウ区で表層 5 cm 以下への根の伸長が抑制され、下層方向ではなく表層、つまり横方向へ根系が伸長したと考えられた。さらに本試験では、岩手県の飼料用トウモロコシの施肥基準（岩手県 2009）に準じて十分な施肥を行っているが、先に述べたようにプラウ区では土壤深さ 5 cm 以深では十分な碎土が行われていなかったことを考えると、プラウ区では土壤の浅い部分に肥料が分布していたものと推察される。このような条件は根系の浅いトウモロコシに対しては有益であり（Trachsel ら 2013）、その結果、プラウ区では表層 0~5 cm に根系が拡大し、ロータリ区より根長密度がやや大きくなったと考えられる。これまでもトウモロコシの根量が不耕起あるいは簡易耕栽培により表層で増加することが報告されている（Barber 1971, Anderson 1987, Ball-Coelho ら 1998, 辻ら 2002）。その要因として、Anderson（1987）は簡易耕栽培による表層土壤の肥沃化をあげており、ロータリ区よりプラウ区で表層土壤が肥沃化している可能性が示唆された。耕起法の違いにより根系の分布が異なる場合、栽培管理法も異なる可能性が考えられ、今後、水田転換畑におけるプラウ耕がトウモロコシの根系に及ぼす要因について土壤物理性、土壤化学性および土壤中の生物相の観点からさらに解析していく必要がある。

絹糸抽出期後の生育についてみると、2014 年では乳熟期および糊熟期にロータリ区よりプラウ区で地上部乾物重が大きい傾向となった（第4図a）。低収量品種群と比較して高収量品種群のトウモロコシは絹糸抽出後 30 日の地上部乾物重が大きく（Tao ら 2014）、2014 年のプラウ区で同様の現象が確認された。すなわち、絹糸抽出期以降の登熟期の乾物生産能はプラウ耕により向上する傾向が示唆された。

2. 子実収量

2014 年の子実収量はロータリ区と比較してプラウ区で高い傾向が認められた（第3表）。また、2015 年の子実収量は耕起法間で有意な差は認められなかったが、2015 年の子実収量は 2014 年比 122% と大きい傾向であった（第3表）。そこで、2015 年に多収となり、2014 年では収量が低かった要因、2014 年にプラウ区で増収傾向となった要因および年次間に差がみられた要因について以下に考察する。

まず、2015 年の多収要因として気象および根系の発達はその要因として考えられた。2014 年と比べて 2015 年では、梅雨期（6 月中旬~7 月下旬）の降水量が平年比 78% と少なかったこと（第1表）で播種後 25 日以降の根系の発達が両耕起区ともに良好であった（第3図c, d）。さらに、絹糸抽出期から絹糸抽出後 2 週間にあたる 8 月上旬から中旬にかけて高温・多照（第1表）となり、この期間の個体群成長速度が 2014 年より優れ（第2表）、粒数も増加したことで多収になったと推察された。トウモロコシでは $1000 \text{ kg } 10 \text{ a}^{-1}$ の収量水準は多収であり（中津ら 2015）、2015 年ではロータリ区およびプラウ区ともに 1000 g m^{-2} より多収であった。つまり、2015 年では両処理区ともに収量ポテンシャルが最大限引き出されたため耕起法による差が認められなかった可能性が大きいと推察された。

次に、2014 年の収量が低かった要因について考察すると、2014 年は 2015 年および平年と比べて台風の影響もあり絹糸抽出期前の降水量が多く（第1表）、2015 年より根系の発達が劣った（第3図c, d）。さらに、絹糸抽出期から絹糸抽出後 2 週間にあたる 8 月上旬から中旬にかけての積算日照時間は 2014 年、2015 年それぞれ平年比 48%、126% となり、2015 年と比較して 2014 年の積算日照時間は 38% と極端に少なかった（第1表）。絹糸抽出期から絹糸抽出後約 2 週間にトウモロコシの粒数は決定し（Reddy and Daynard 1983, Cirilo and Andrade 1994, Jones ら 1996）、絹糸抽出期前後の日射量はトウモロコシの粒数と密接な関係がある（Kiniry and Kniewel 1995, Andrade ら 2000）。2015 年と比較して 2014 年では絹糸抽出期前後の NAR が減少したことにより CGR が小さくなった（第2表）ことから、光合成能の低下が乾物生産を減少させることが明らかとなった。また、2015 年より 2014 年の粒数は少ない傾向であり（第3表）、子実収量と粒数に密接な関係がある（第4表）ことから 2014 年の子実収量の低下は粒数の減少によることが明らかとなった。これらのことから、2014 年では絹糸抽出期から絹糸抽出後 2 週間にあたる 8 月上旬から中旬にかけての積算日照時間が少なかったことで作物体全体の光合成能が低下し、粒数が減少して子実収量が小さくなったと推察された。

また、2014 年のプラウ区で増収傾向となった要因として、2014 年は、耕起法による根系の発達の差が顕著であったため、子実収量に耕起法の差がみられたと推察された。2014 年の絹糸抽出期（播種後 63 日）から乳熟期（播種後 80 日）

の根重密度はロータリ区と比較してプラウ区で増加の程度が大きく、根長密度はロータリ区で減少した一方、プラウ区にて横ばい傾向であった (第3図)。絹糸抽出期前後のCGRおよび乳熟期の根長密度には正の相関関係が認められ (第5図)、この時期の根系の発達が乾物生産と密接な関係にあることが示唆された。さらに、絹糸抽出期前後のCGRは粒数と密接な関係があり (Andradeら1999, Andradeら2002)、2014年のプラウ区で粒数が増加傾向であった (第3表)。これらのことから、絹糸抽出期から乳熟期の根系の違いが絹糸抽出期前の乾物生産能に影響を及ぼして、プラウ区では粒数が増加して増収傾向になったと推察された。

以上のように、2ヶ年を通して、黒ボク土の水田転換畑における子実用トウモロコシの生育および子実収量に耕起法による顕著な差は認められなかった。したがって、黒ボク土の水田転換畑で子実用トウモロコシを栽培する際にはプラウ耕でも十分に生育および子実収量を確保できることが明らかとなった。また本試験では、耕起法の違いにより根系の発達特性が異なることが示唆され、今後詳細な解析が求められる。

謝辞：羽田野麻理博士には根分析機器をご提供頂き、松波麻耶博士には根の解析方法をご教授いただきました。また、中山壮一氏には統計解析についてご助言頂きました。業務第1科の木村力也氏、吉田昭男氏、三浦幸浩氏、小笠原篤氏、高橋博貴氏、高橋栄廣氏には耕起、調査、圃場管理にご協力頂きました。生産基盤研究領域作業技術グループおよび栽培技術グループの契約職員の方々には調査にご協力頂きました。ここに記して感謝の意を表します。

引用文献

- Anderson, E.L. 1987. Corn root growth and distribution as influenced by tillage and nitrogen fertilization. *Agron. J.* 79: 544-549.
- Andrade, F.H., Vega, C., Uhart, S., Cirilo, A., Cantarero, M. and Valentinuz, O. 1999. Kernel number determination in maize. *Crop Sci.* 39: 453-459.
- Andrade, F.H., Otegui, M.E. and Vega, C. 2000. Intercepted radiation at flowering and kernel number in maize. *Agron. J.* 92: 92-97.
- Andrade, F.H., Echarte, L., Rizzalli, R., Maggiora, A.D. and Casanovas, M. 2002. Kernel number prediction in maize under nitrogen or water stress. *Crop Sci.* 42: 1173-1179.
- 青田精一・星野正生 1978. 低湿重粘土水田の転換畑におけるトウモロコシ収量の年次変化. *日草誌* 24: 118-122.
- Ball-Coelho, B.R., Roy, R.C. and Swanton, C.J. 1998. Tillage alters corn root distribution in coarse-textured soil. *Soil Tillage Res.* 45: 237-249.
- Barber, S.A. 1971. Effect of tillage practice on corn (*Zea mays* L.) root distribution and morphology. *Agron. J.* 63: 724-726.
- Cirilo, A.G. and Andrade, F.H. 1994. Sowing date and maize productivity: II. Kernel number determination. *Crop Sci.* 34: 1044-1046.
- 後藤隆志 1997. 耕うん整地作業の新技術. *農業機械学会誌* 59: 125-129.
- 濱村美由紀・相馬潤・中津智史・甲田裕幸・橋本庸三 2011. 道央地域における子実用トウモロコシの栽培法. (平成23年度北海道地域の成果情報). <http://www.naro.affrc.go.jp/harc/contents/files/kankyo03.pdf> (2016/10/31 閲覧).
- 林拓・牧野司・出口健三郎 2009. 播種床造成行程の簡易化がとうもろこしの生育・収量に及ぼす影響の品種間差. *北草研報* 43: 46.
- 稲野一郎・石井耕太・木村義彰 2011. 子実用トウモロコシの機械収穫乾燥体系. (平成23年度北海道地域の成果情報). <http://www.naro.affrc.go.jp/harc/contents/files/seisan04.pdf> (2016/10/31 閲覧).
- 岩手県 2009. 岩手県農作物施肥管理指針. http://www.pref.iwate.jp/dbps_data/_material/_files/000/000/029/027/100_sehi-shishin140925.pdf (2016/10/31 閲覧).
- Jones, R.J., Schreiber, B.M.N. and Roessler, J.A. 1996. Kernel sink capacity in maize: Genotypic and maternal regulation. *Crop Sci.* 36: 301-306.
- 菅野勉・森田聡一郎・佐藤節郎・住田憲俊 2014. 二毛作条件下におけるサイレージ用トウモロコシ (*Zea mays* L.) の畝立て播種に関する現地試験. *日草誌* 60: 49-54.
- Kiniry, J.R. and Kniewel, D.P. 1995. Response of maize seed number to solar radiation intercepted soon after anthesis. *Agron. J.* 87: 228-234.
- 吉良賢二 1985. 北限地帯におけるサイレージ用トウモロコシの生育および生産性に関する研究 第3報 初期生育が収量に及ぼす影響. *日作紀* 54: 47-53.
- 気象庁 2015. 平成27年の梅雨入り・明けと梅雨時期の特徴について. <http://www.jma.go.jp/jma/press/1509/01a/tsuyu2015.pdf> (2016/10/31 閲覧).
- 小林良次 2012. コントラクターの利用を想定した冬作ライムギ収穫跡地でのトウモロコシ簡易耕栽培技術. *日草誌* 58: 23-29.
- 中精一 1981. 作物栽培と耕うん作業. *農業機械学会誌* 42: 563-567.
- 中津智史・濱村美由紀・中本洋・甲田裕幸 2015. 道央地域における子実用トウモロコシの栽培法 (第2報) 無機養分の吸収推移と窒素施肥法. *北農* 82: 267-273.
- 農業機械学会 1996. 生物生産機械ハンドブック. コロナ社, 東京. 410.
- 農林省農林経済局統計調査部 1968. 農林水産統計. 農林統計協会, 東京.
- 尾崎政春 2015. 道央における子実トウモロコシ利用の取り組み. *北畜草会報* 3: 73-77.
- Reddy, V.M. and Daynard, T.B. 1983. Endosperm characteristics associated with rate of grain filling and kernel size in corn. *Maydica* 28: 339-355.
- 田中丸重美・林田慎一・望月俊宏・古屋忠彦 1998. 圧縮土層への種子根・主根の貫入および貫通の作物種間差について. *日作紀* 67: 63-69.
- Tao, H., Chen, P., Li, L., Liao, S., Wang, L. and Wang, P. 2014. Maintenance of crop growth through 30 days after silking contributes to achieving super-high yield of spring maize. *Plant Prod. Sci.* 17: 268-275.
- Trachsel, S., Kaeppler, S.M., Brown, K.M. and Lynch, J.P. 2013. Maize root growth angles become steeper under low N conditions. *Field Crops Res.* 140: 18-31.
- 辻博之・山本泰由・松尾和之・白木一英 2002. 火山性土壌畑におけるラッカセイ、トウモロコシ、大豆の根系に及ぼす不耕起栽培の影響. *根の研究* 11: 43-49.

Effects of Plowing on Growth and Grain Yield of Maize (*Zea mays* L.) in Upland Field Converted from Paddy Field in Andosol : Yoshiya SHINOTO^{1, 2)}, Toshinori MATSUNAMI¹⁾, Ryuji OTANI¹⁾, Hideaki KANMURI¹⁾ and Sachio MARUYAMA³⁾ (¹⁾NARO Tohoku Agr. Res. Cent., Morioka 020-0198, Japan; ²⁾Grad. Sch. of Life and Environ. Sci., Univ. of Tsukuba; ³⁾Fac. of Life and Environ. Sci., Univ. of Tsukuba)

Abstract : We investigated the effects of plowing on growth and grain yield of maize (*Zea mays* L.) in an upland field converted from an andosol paddy field. A 2-year (2014 and 2015) field study with two hybrids and two tillage systems (rotary tilling and plowing) was conducted. Plowing reduced the time to silking by 1 or 2 days, whereas plant height, leaf color, and leaf area index were not significantly affected by the tillage system. Similarly, the tillage system did not significantly affect root length density; however, plowing of the fields increased root length density from the tassel formation stage to the milky stage. Additionally, plowing tended to increase dry weight at the milky and dough stages in 2014. In 2014, grain yield of the plants grown in plowed fields was higher than that of the plants grown in fields prepared by rotary tilling, while in 2015, there was no significant difference in grain yield between the two tillage systems. Since neither growth depression nor yield decline was observed in maize cultivated in plowed fields, it can be concluded that plowing is useful for maize production in upland field converted from andosol paddy fields.

Key words : Andosol, Grain Yield, Growth, Maize, Plowing, Root, Rotary tilling, Upland field converted from paddy field.
