研究報文

地下水位制御が春播きおよび夏播きニンジンの生育に及ぼす影響

松尾健太郎*,**・山本岳彦*・山崎 篤*

* 農業・食品産業技術総合研究機構東北農業研究センター

** 現) 農業・食品産業技術総合研究機構九州沖縄農業研究センター

Effects of Water Table Control on Growth of Spring- and Summer-sowing Carrot

Kentaro MATSUI*, **, Takehiko YAMAMOTO* and Atsushi YAMASAKI*

*Tohoku Agricultural Research Center, NARO

**Present address: Kyushu Okinawa Agricultural Research Center, NARO

地下水位の制御が、春播き‘向陽2号’と夏播き‘はまべに五寸’ニンジンの生育に及ぼす影響を調査した。黒ボク土の露地圃場に幅70 cm、高さ12 cmの畝を立て、地下水位を制御して栽培した。地下水位の制御は、(1)播種直後から出芽まで地下水位を畝上面から-15 cmに維持する(播種直後)、(2)‘播種直後’以降を-42 cmで維持する(高水位)、(3)‘播種直後’以降を-52 cmで維持する(低水位)、(4)‘播種直後’以降1ヶ月間-52 cmで維持する(低水位1ヶ月)および(5)無処理の方法で行った。その結果、出芽率は、春播きと夏播きともに無処理区よりも地下水位を制御した区で高かった。初期生育は、春播き夏播きともに播種直後区と無処理区より低水位区と高水位区で優れていた。春播き栽培において、収穫時の根重は、低水位区が無処理区よりも大きかった。高水位区は、土壌の気相率が低く湿害が発生した。また、低水位区は、大雨が降っても土壌水分の変動が小さいために、裂根の発生が少ないと考えられた。根形は、地下水位を制御しても生育後期が高温になると細長くなった。夏播き栽培においては、出芽後の1ヶ月間は地下水位を-52 cmで維持して、その後、降雨があった場合に無制御にすることで湿害を回避できると考えられた。裂根の発生は、いずれの地下水位制御方法でも少なかった。

キーワード：地下水位制御，ニンジン，春播き，夏播き，裂根

1. 緒言

ニンジンには、直根性であるため移植栽培が適さない。このために、圃場に直接播種して栽培されている(以下、直播栽培)。直播栽培は、移植栽培と比較して育苗の手間や必要な資材が少なく、

新規に導入することが容易である。しかし、ニンジン種子は、他の種子と比較して吸水力が低いために、発芽・出芽の限界土壌含水量が高い(松原ら1965)。また、ニンジンは地上部から根への酸素の移行が少ない(位田1953)と報告されている。そこで、出芽率を高くして、湿害も回避するためには、播種前後に灌水をするための設備と排水性の良い圃場や畝立てや明渠による排水性の向上が必要である。

近年、水田の基盤技術として、集中管理孔を利用したシステム(北海道農政部2008)やコップスユニットB型システム(積水化学工業株式会社2013)などの暗渠管から灌漑して地下水位

2015年11月25日受付

2016年4月23日受理

Corresponding author

松尾健太郎 Kentaro MATSUI

〒885-0091 宮崎県都城市横市町6651-2

6651-2, Yokoichicho, Miyakonojo-shi, Miyazaki, 885-0091, Japan

E-mail: k.matsui@affrc.go.jp

図1 試験に用いた圃場

を制御するシステムが開発されている。特に利用方法の研究や普及が進んでいるシステムとして FOEAS (Farm-Oriented Enhanced Aquatic System) がある (藤森 2007)。平成 25 年 12 月 5 日時点の FOEAS の普及状況は、全国 167 地区、9,304 ha (施工済み、および採択予定を含む) であり、今後もさらなる普及が見込まれている (農研機構 2014)。これらのシステムが導入された圃場は、灌水が可能で水田としては排水性も向上しており、畝を立てることでニンジン生産も可能であると考えられる。Shimada ら (2012) や Matsuo ら (2013) は、FOEAS を利用して地下水位を制御することでダイズが増収することを示した。また、中野ら (2014) は、キャベツの秋播き栽培において、地下水位を -30 cm で維持すると湿害の危険性が増し、収量を低下させる可能性が高いと報告した。このように、ダイズやキャベツなどでは地下水位を制御した場合の影響が明らかになっており、ニンジンについても地下水位制御システムを利用して安定生産を可能にするために、地下水位制御が生育に与える影響を調査する必要がある。

ニンジン栽培と地下水位の関係を調査した例として、砂地土壌における地下水位の高低の影響には品種によって強弱があることや (望月ら 1996)、集中豪雨や台風などによる一時的な地下水位の上昇、湛水を想定した場合に、腐敗によって収量が減少しない排水条件が示された (草川ら 2010)。このようにニンジン栽培における地下水位を対象とした研究は出芽後の地域的な高低や台

図2 水の流れと地下水位の設定方法の概略

風などによる変化などに対応するため、播種直後から地下水位を制御して安定生産を目指す研究は行われていない。さらに、ニンジンの作型はいくつもあり、例えば東北地域では品種やトンネル被覆などを利用することで春から夏にかけて栽培することが可能である。このように同じ地域でも大きく異なる気象条件で栽培されており、栽培時期と地下水位制御の関係を対象とした研究も必要である。

そこで本研究では、地下水位を制御した条件で春播きおよび夏播きニンジン栽培を調査し、春播きおよび夏播き栽培における地下水位制御による生産性向上の可能性を検討した。

2. 材料および方法

1) 地下水位制御圃場の概要

試験は、東北農業研究センター内 (盛岡市) の黒ボク土の露地圃場で実施した (図 1)。面積は約 0.76 a (幅 3.8 m × 長さ 20 m) で、両脇はコンクリート、底は防水シートが敷かれている。暗渠管は、直径が 65 mm で防水シートの上に 1.46 m の間隔で 2 本設置され、その上に土壌深さ 0.5 m までもみ殻が入れられている。地下水位の高さは、圃場の両脇のコンクリートの高さを基準として栽培開始時に畝高さを計測して、給水側をフロートスイッチ (フロートの直径 24 mm × 高さ 16 mm) の高さで排水側の水甲管 (中部美化企業、

表1 地下水位の制御方法

略称	播種から出芽	出芽から収穫
高水位	-15 cm で一定	-42 cm で一定
低水位		-52 cm で一定
低水位 1 ヶ月		1 ヶ月間-52 cm で一定でその後、無制御
播種直後		無制御
無処理	無制御（無給水で排水栓を解放）	

注1) 表中の地下水位は、畝上面を基準（0 cm）としている。したがって、圃場表面を基準とした場合、-15 cm は-3 cm、-42 cm は-30 cm、-52 cm は-40 cm になる。

2) 高水位区は、2011 年の試験でのみ行った。

3) 1 ヶ月区は、2012 年の試験でのみ行った。

K1-65 を 2 重管に改良したもの）の外管（穴）の高さを制御した（図 2）。給水は水位が下がってフロートスイッチが入ると自作したタイマが電磁弁を 10 秒間開くことで行った。また、畝間と圃場の端に設置した水田用の排水桝を接続して、表面水の排水を行った。地下水位の誤差は、降雨がなく給水が停止し安定した条件下で設定水位の ± 2 cm の範囲であった。

2) 栽培概要

畝形状は 70 cm × 12 cm（幅 × 高さ）で、播種様式は播種間隔が 8 cm、条間 15 cm の 2 条である。基肥として CDU タマゴ化成 555（N：P₂O₅：K₂O、15：15：15%，ジェイカムアグリ）と 1.75 過リン酸石灰（0：17.5：0%）を用い、成分量が 15：19.9：15 kg/10 a になるように施用した。品種は、春播き栽培が「向陽 2 号」（タキイ種苗）、夏播き栽培が「はまべに五寸」（横浜植木）である。コーティング種子を用いて、2011 年には 5 月 5 日播種、7 月 27 日収穫（春播き）および 7 月 14 日播種、10 月 6 日収穫（夏播き）、2012 年には 5 月 9 日播種、8 月 18 日収穫（春播き）および 7 月 27 日播種、11 月 1 日収穫（夏播き）を実施した。

3) 地下水位の制御方法

表 1 に示した 5 つの方法で地下水位を制御した。地下水位を制御した区においては、出芽を促進させる目的で播種直後に畝上面から -15 cm（圃場表面からは -3 cm）の地下水位で一定にした。この地下水位 -15 cm は、畝上面の土壌の色が吸水により変化する最低の地下水位の高さを事前に調査した結果から決定した。出芽を確認した後は、望月ら（1996）が砂地土壌で行った研究の報告を

参考に地下水位を表 1 に示すそれぞれの方法で制御した。また、春播き栽培と夏播き栽培の時期が重なるため、2011 年 7 月 7 日、2012 年 7 月 17 日から春播き栽培の地下水位制御を止めて、一週間排水し、夏播き栽培のための畝立て、播種および地下水位制御を行った。

4) 調査項目

土壌の液相率は、誘電率土壌水分センサー（Decagon, ECH2O プローブ EC-5）およびデータロガー（Decagon, Em50）を用いて誘電率を測定し、Decagon 社のキャリブレーション方法に従い、液相率に変換した。測定は、2011 年は畝の上面の深さ 4～9 cm と 13～18 cm の平均、2012 年では 5 cm と 15 cm を畝の中央と中央から 2 m 離れた位置で測定した。また、2012 年の栽培後の土壌の固相率を土壌三相計（大起理化学工業、DIK-1130）で測定した。気温および降雨量は、東北農業研究センターの敷地内に設置されている総合気象観測装置〔気温は白金抵抗温度計（クリマテック、C-HPT-10-JM）、降水は転倒ます型（クリマテック、CYO-WB0017-）〕で測定した。出芽の調査は、2011 年が各区 78 粒、2012 年が各区 100 粒で実施した。また、生育調査は、展開葉が 5 葉程度で行い、各区 10 株（2011 年）あるいは各区 25 株（2012 年）について抜き取り直後に根長、根の最大径を測定し、茎葉と根を分けて乾物重を測定した。収穫時は、各区 40 株について裂根の有無、草丈、根長、根の最大径、根および葉の新鮮重を測定した。また、ニンジンの根形の指標として、内村ら（1969）が用いたつまり度を次式により求めた。

$$\text{つまり度 (g/cm}^3\text{)} = \frac{\text{根重 (g)}}{\text{根の最大断面積 (cm}^2\text{)} \times \text{根長 (cm)}} \times 100 \quad (\text{式 1})$$

統計解析には、統計解析ソフト R (version3.2.2) を使用した。また、地下水位が高い場合にニンジンの生育が揃うと指摘されていること（望月康秀ら 1996）から、本研究において等分散性が成り立たないと考えられたので多重検定には Games-Howell 法を使用し、比率には Fisher の正確確率検定と Holm 法を使用した。

3. 結果

1) 気象条件と土壌水分

2011 年の気温は 7 月が特に高く、2012 年は 8 月と 9 月が特に高かった（図 3）。2011 年の降水量は、7 月以外の月で平年より多く、6 月、8 月、

図3 年別の月平均気温の推移

9 月には 50 mm/day を超える大雨が降った（図 4A）。2012 年の降水量は、7 月以外の月で平年より少なく、特に 8 月と 9 月が平年の 50% 以下であった（図 4B）。2012 年の栽培後の土壌の固相率は、24.9% であった。

降雨が多かった 2011 年の表層の液相率は、降雨が少ない 2012 年の同じ処理区と比較して 10% 程度高かった（図 5, 図 6）。下層の液相率では、2011 年と 2012 年の差が 5% 以下で小さかった。また、2011 年の液相率では、高水位区 > 低水位区 > 播種直後区 > 無処理区の順で高く、2012 年でも地下水位が高く維持する期間が長いほど液相率が高くなった。2011 年の高水位区と低水位区は、雨が降らない場合でも表層の液相率を 55% と 45% 程度で維持された。2012 年の低水位区でも、35% 程度で維持した。播種直後に一時的に地下水位を -15 cm に上昇させた期間の液相率は、地下水位の変動に合わせて一時的に高くなった。したがって、表層は降雨の影響が大きいが、地下水位を制御することで、土壌の液相率は地下水位に追従して変化した。

2) 地下水位制御が出芽率に与える影響

(1) 春播き栽培

2011 年では、出芽開始時期に処理区の差はなく、出芽率は地下水位を -15 cm にした 3 つの区で播種後 18 日後から 60% を超えて、無処理区よ

図4 年別の日降水量の推移

図5 2011年の液相率の推移
(上：表層 (4~9 cm)，下：下層 (13~18 cm))

注1：7月14日、15日は欠測。

注2：凡例の数値は、測定期間中の液相率の平均値。

注3：図内の矢印は、地下水位を-15 cmに維持した期間で、zが5月5~12日、yが7月14~19日。

図6 2012年の液相率の推移
(上：表層 (5 cm)，下：下層 (15 cm))

注1：凡例の数値は、測定期間中の液相率の平均値。

注2：図内の矢印は、地下水位を-15 cmに維持した期間で、zが5月9~15日、yが7月27~8月3日。

図7 地下水位制御の違いと播種期が出芽率に及ぼす影響

図8 地下水位制御の違いと播種期が生育初期の全乾物重に及ぼす影響

z: 図中の括弧は播種日からの日数.

y: 同じ英文字がある場合は, Games-Howell 法 5%水準で有意差なし.

x: エラーバーは, 標準誤差.

り約 15% 高くなった (図 7A)。2012 年では, 11 日後で無処理区が 25% であったのに対して, -15 cm で地下水位を維持した 3 つの区は 75% を越えており, 著しく出芽促進効果が認められた。

(2) 夏播き栽培

2011 年では, 10 日後で無処理区が 3% であったのに対して, -15 cm で地下水位を維持した 3 つの区は 70% を越えており, 著しく出芽促進効果が認められた (図 7B)。2012 年では, 無処理区と低水位 1 ヶ月区が同等で, 低水位区および播種直後区でも 35% 程度と低かった。

3) 地下水位制御が初期生育に与える影響

生育初期の全乾物重は, すべての播種時期で無処理区と播種直後区が小さかった (図 8)。また, 春播き栽培において, 2011 年は高水位区と低水位区, 2012 年は低水位 1 ヶ月区が有意に大きかった。夏播き栽培において, 2011 年は低水位区, 2012 年は低水位区と低水位 1 ヶ月区が有意に大きかった。

4) 地下水位制御が収穫物に与える影響

(1) 春播き栽培

2011 年の葉重は, 低水位区が他の区と比較して有意に大きかった (表 2)。根重は, 両年とも低水位区が無処理区と比較して有意に大きかった。根径と根長は, 2011 年では処理区間に差がみられず, 2012 年では無処理区が他の区よりも小さい傾向であった。つまり度は, 2011 年では低水

位区と高水位区, 2012 年では播種直後区と無処理区が高い傾向であった。裂根率は, 2011 年では播種直後区が 44.4% と有意に高く, 無処理区が有意に低かった。2012 年も同様に播種直後区が高く, 低水位区と無処理区が低い傾向であった。

(2) 夏播き栽培

2011 年において, 葉重は播種直後区が有意に大きく, 根重は無処理区が有意に小さく, 播種直後区が有意に大きかった。2012 年において, 低水位区と低水位 1 ヶ月区が無処理区よりも有意に大きかった。根径と根長は, 両年とも無処理区が小さい傾向であった。裂根は, 春播き栽培と比較して全体的に発生率が小さかった。

4. 考察

1) 出芽

播種直後から地下水位を -15 cm で維持することによって, いずれの播種時期でも出芽が促進された (図 7)。ニンジンの発芽率が 50% を超える液相率は, 火山灰土で 40% 以上であると報告されている (松原ら 1965)。本試験の土壌は黒ボク土であるが, 母材は火山灰土であるので, 松原らの値を参考にして良いと考えられる。播種直前に降雨があった 2011 年の春播き栽培において, 地下水位を -15 cm で維持した期間の液相率は, 地下水位を維持した 3 つの区の平均が 61.9%, 無処理区でも 55.1% といずれも高かったが (図 5), 他の播種時期では, それぞれ平均で 44.7% と 28.7% と, 地下水位を -15 cm に制御した区は

表 2 地下水位制御の違いが収穫時の春播き栽培 ‘向陽 2 号’ の生育に及ぼす影響

収穫日	処理方法	葉重 ^z (g)	根重 ^z (g)	根径 ^z (cm)	根長 ^z (cm)	つまり度 ^z	裂根率 ^y (%)
2011/ 7/27	高水位	41.2 b	78.2 b	3.5 a	17.5 a	47.1 ab	13.8 b
	低水位	56.0 a	96.1 a	3.6 a	18.1 a	49.9 a	9.1 b
	播種直後	38.6 b	75.9 b	3.4 a	18.8 a	44.3 b	44.4 a
	無処理	43.7 b	77.7 b	3.3 a	19.6 a	44.2 b	3.6 c
2012/ 8/18	低水位	—	97.9 a	3.8 a	15.3 a	52.7 b	8.0 ab
	低水位 1 ヶ月	—	88.8 ab	3.7 a	15.2 a	53.3 b	10.0 a
	播種直後	—	90.0 ab	3.8 a	13.4 b	57.9 a	18.0 a
	無処理	—	79.5 b	3.5 b	14.0 b	58.1 a	4.0 b

z: 同じ英文字がある場合は, Games-Howell 法 5% 水準で有意差なし。

y: Fisher の正確確率検定の p 値 (5%) を Holm 法により調整して多重検定し, 同じ英文字がある場合は有意差なし。

表 3 地下水位制御の違いが収穫時の夏播き栽培‘はまべに五寸’の生育に及ぼす影響

収穫日	処理方法	葉重 ^z (g)	根重 ^z (g)	根径 ^z (cm)	根長 ^z (cm)	つまり度 ^z	裂根率 ^y (%)
2011/ 10/6	高水位	40.5 c	66.3 c	3.4 b	11.9 bc	60.0 ab	0.0 a
	低水位	66.6 b	94.6 b	3.8 a	13.1 b	62.0 a	0.0 a
	播種直後	82.2 a	116.1 a	4.0 a	15.7 a	58.8 b	2.5 a
	無処理	32.7 c	44.1 d	2.6 c	11.3 c	62.8 a	0.0 a
2012/ 11/1	低水位	— ^x	201.8 a	4.8 a	15.8 a	67.8 a	2.1 a
	低水位 1 ヶ月	—	180.6 ab	4.5 b	16.3 a	68.1 a	8.3 b
	播種直後	—	157.2 bc	4.3 bc	15.3 ab	69.7 a	0.0 a
	無処理	—	137.3 c	4.1 c	14.3 b	70.1 a	0.0 a

z: 同じ英文字がある場合は、Games-Howell 法 5%水準で有意差なし。

y: Fisher の正確確率検定の p 値 (5%) を Holm 法により調整して検定し、同じ英文字がある場合は有意差なし。

x: すべての区で黄化進み、葉が脱落していたために調査していない。

降雨がなくても 40%を越えており、これによって出芽が促進されたと考えられる。しかし、2012 年の夏播きにおいて地下水位を制御した区の出芽率は、無処理区より高いが、30%程度であった。ニンジンの発芽の限界が 30℃付近とされており (琴谷ら 1959)、この試験でも播種日から 1 週間の平均気温が 25℃以上で、地温が発芽の限界付近まで上昇し、出芽率が低下したと考えられる。

以上のことから、発芽に適正な温度の時期に播種を行い、地下水位を畝上面から -15 cm に維持して液相率を高く維持することで、播種時に土壤が乾燥していても十分な出芽率を確保することができると考えられる。

2) 初期生育

初期生育の全乾物重は、年次や播種時期に係わらず、播種直後区と無処理区で小さい傾向があった (図 8)。タマネギの栽培試験において、地下水位を -30 cm および -40 cm で一定に維持することで、初期成育が優れることが報告されている (中野ら 2012)。本試験においても、同様に地下水位を一定に制御した区で大きく、土壤水分が初期生育に影響を与えたと考えられる。また、無処理区は、2011 年の春播き以外で他の処理区よりも出芽が遅れており、これによって初期生育が遅れたと考えられる。播種直後区は、出芽直後に排水を行うために、土壤が急激に乾燥して収縮、硬化がおり、生育が阻害された可能性がある。このように初期生育を阻害する要因はいくつか考えられ、地下

水位を畝の上面から -52 cm に維持することで無処理よりも初期生育は向上すると考えられる。

3) 収穫物の重量や形状

(1) 春播き栽培

収穫期の根重や葉重は、2011 年では初期生育が優れた高水位区が無処理区と播種直後区と同等で、低水位区と比較して有意に小さかった (表 2)。2012 年では低水位区が無処理区よりも有意に大きかった。両年とも無処理区は、初期生育が劣り、土壤の液相率も低いために収穫期の根重や葉重も小さくなったと考えられる。2011 年の高水位区は、固相率を 2012 年と同じ 24.9%と仮定すると下層の気相率は 3.9%と著しく低く、春播きニンジンの生育に適した気相率は約 15%が最小限界と報告されていることから (幸田 1983)、生育後期に湿害が発生し、生育が阻害されたと考えられる。根形は、同処理区を比較して 2011 年が 2012 年よりも細長くなった。生育後期に高温となった場合に根形は細長くなるとされており (川城ら 1989)、2011 年は 2012 年よりも 7 月の気温が 1.4℃高いことが、根形に影響を与えたと考えられる。また、望月ら (1996) は地下水位の高低が品種によっては根長に影響を与えると報告したが、本試験では、地下水位を一定にした場合は、高水位で短くなる傾向があるものの地下水位を変化させた場合の影響は明らかではなかった。したがって、根形は、温度の影響が大きいために地下水位を制御した場合でも年次の変動が大きいと考えられた。裂根は、

播種直後区や一ヶ月区で発生が多く、低水位区や高水位区では発生が少なかった。小川ら(1984)は、ニンジンのトンネル栽培において、生育初期が乾燥状態で後期に多湿状態に変化すると裂根の発生が多く、適湿状態で一定の場合に裂根の発生が少ないと報告した。また、寺林ら(2008)は、ニンジンの水耕栽培における裂根発生の原因を、生育期間中の高水分条件と指摘した。本試験において地下水位を制御した区では、生育後期に夏播き栽培のために地下水位を一時的に上昇させて高水分状態になった。これは、生育後期に大雨が降った場合と同様の条件と考えられ、このような生育後期に乾燥状態から多湿状態に変化した播種直後区で裂根の発生が多くなり、土壌の液相率が高く維持された低水位区や高水位区では水分の変化が少なく、裂根の発生が少なかったと考えられる。低水位1ヶ月区についても、播種直後区と同様に地下水位を制御しない時期に乾燥するため、裂根が発生する可能性が高い。無処理区においても土壌は乾燥しており、生育後期に大雨が降った場合には、裂根率が高くなると推察できる。

(2) 夏播き栽培

根重は、両年とも無処理区が小さく、2011年では播種直後区が大きく、2012年では低水位区と低水位1ヶ月区が大きい傾向があった。春播き栽培と同様に無処理区は初期生育が劣ること、高水位区は湿害が発生したことによって小さくなった。2011年は、多雨であったために低水位区においても生育後期に液相率が高い状態で低温になり、生育が阻害されたと考えられる。2012年は少雨で、2011年よりも液相率が低く、低水位区は生育が阻害されなかったと考えられる。根形については、傾向が明らかではなかった。裂根の発生は、全体的に少なかった。夏播き栽培は、ニンジンの生理と気象条件が適合し、肥大が進み、裂根も少ないとされている(小川1988)。2012年の生育後期に大雨が降って土壌の液相率が急激に上昇したが、裂根の発生は少なかった。このことから夏播き栽培では、一時的に地下水位を制御することが裂根の発生を増加させることはないと考えられる。

以上のことより、地下水位制御下でニンジン春播きあるいは夏播きで栽培する場合の要点を以下のようにまとめた。春播き栽培においては、播種直後に畝表面から-15 cmで地下水位を維持し、出芽を確認した後は地下水位を-52 cmに変更し

て維持することで、出芽率が高くなり裂根の発生を抑えて根重も大きくなると考えられた。一方、夏播き栽培では、播種直後に地下水位を-15 cmに維持し、出芽を確認した後は地下水位を-52 cmに変更して1ヶ月間以上維持し、降雨があった時点で地下水位制御を停止することで、出芽率が高くなり根重も大きくなると考えられた。

今後、夏播き栽培の地下水位を維持する期間や制御を中止する判断基準をさらに検討し、明らかにした地下水位制御方法を市販されている地下水位制御システムを用いて実証する必要がある。

付記

本研究は農林水産省委託プロジェクト「水田の潜在能力発揮等による農地周年有効活用技術の開発」3系「土壌養水分制御技術を活用した水田高度化技術の開発」の助成により実施した。

引用文献

- 藤森新作(2007): 転作作物の安定多収をめざす地下水位調節システム—水田リフォーム技術の開発—, 農業および園芸 82: 570-576.
- 北海道農政部(2008): 集中管理孔を利用した地下かんがいの手引き, (財)北海道農業近代化技術研究センター編, 北海道.
- 位田藤久太郎(1953): 蔬菜の根の生理に関する研究(第3報) 茎葉の有無が根の酸素要求量に及ぼす影響について, 園学雑 22: 24-27.
- 川城英夫・武田英之(1989): 根菜類の生育並びに根形に及ぼす土壌環境の影響 第2報 ニンジンの生育並びに根形に及ぼす地温の影響, 千葉農試研報 30: 41-50.
- 琴谷 稔・田坂耕一郎・花岡 保(1959): 蔬菜園芸講座 5, 浅倉書店, pp.98-99.
- 幸田浩俊(1983): 野菜類と普通作物による低湿地帯の田畑輪換栽培に関する研究 第1報 地下水位と作物の生育・収量(作土層の水分吸引圧・気相率, および土壌養分の動態との関係), 茨城農試研報 22: 25-63.
- 草川知行・井上 満(2010): ポット試験における一時的な地下水位の上昇と湛水期間がニンジン生育に及ぼす影響, 園学研 9(4): 495-500.
- 松原尚生・杉山直儀(1965): 種子の発芽・発生に及ぼす土壌水分の影響, 園学雑 34: 105-112.
- Matsuo, N., M. Takahashi, H. Nakano, K. Fukami, S.

- Tsuchiya, S. Morita, H. Kitagawa, K. Nakano, H. Hakamoto and K. Tasaka (2013): Growth and yield responses of two soybean cultivars grown under controlled groundwater level in southwestern Japan, *Plant Prod. Sci.* 16 : 84-94.
- 望月康秀・金田雄二 (1996) : 砂地畑における地下水位の高低が 5 寸ニンジン ‘光輝200’ ‘向陽 2 号’ の生育, 形態に及ぼす影響, 静岡農試研報 41 : 63-69.
- 中野有加・岡田邦彦 (2012) : 地下水位の高低および変化がタマネギの根系発達に及ぼす影響, 根の研究 21(3) : 63-71.
- 中野有加・東野裕広・村岡賢一・中西一泰・柳井洋介・岡田邦彦 (2014) : 地下水位制御システム (FOEAS) 設工ほ場における設定水位が秋まきキャベツの生育に及ぼす影響, 園学研 13(2) : 125-133.
- 農研機構 (2014) : 開発レポート第 12 回「地下水位制御システム FOEAS の開発および普及」, http://www.naro.affrc.go.jp/collab/cllab_report/docu/report12.html (2015 年 3 月 12 日閲覧).
- 小川 勉・加藤楠候・川城英夫・佐藤忠弘 (1984) : 作型を生かすニンジンのつくり方, 農山村文化協会, 東京, pp.162-182.
- 小川 勉 (1988) : 各作型での基本技術と生理, 農業技術体系 野菜編 9, 農山村文化協会, 東京, pp.127-154.
- 積水化学工業株式会社 (2013) : KOPF'S/FOEAS 地下かんがいシステム技術資料, <http://www.eslontimes.com/system/access/file/item=155/type=4/id=3003/> (2016 年 1 月 18 日閲覧).
- Shimada, S., H. Hamaguchi, Y. Kim, K. Matsuura, M. Kato, T. Kokuryu, J. Tazawa and S. Fujimori (2012) : Effects of water table control by farm-oriented enhancing aquatic system on photosynthesis, nodule nitrogen fixation, and yield of soybeans, *Plant Prod. Sci.* 15 : 132-143.
- 寺林 敏・原田直美・伊達修一・藤目幸廣 (2008) : 水耕ニンジン (*Daucus carota* L.) の根の肥大に及ぼす通気および培養液水位の影響, 園学研 7(3) : 439-444.
- 内村征生・宮城耕治 (1969) : ニンジン (短根種) の根形について, 農耕および園芸 44 : 995-996.

Abstract

The effects of water table control on the growth of spring- and summer-sown carrots were evaluated in a field with andosol soil. Carrot cultivars, ‘Koyo-2-gou’ for spring-sowing and ‘Hamabeni-5-sun’ for summer-sowing, were grown on ridges of width 70 cm and height 12 cm. Treatments of water table control were as follows: (1) maintained at 15 cm below the ridge surface until seedling emergence (i.e. USE15) and (2) maintained at 42 cm below the surface after USE15 (i.e. M42), (3) maintained at 52 cm below the surface after USE15 (i.e. M52), (4) maintained at 52 cm below the surface for one month after USE15 (i.e. M52M) and (5) not controlled (Control). The seedling emergence rate was higher for treatments with the water table controlled than for the Control. At the five-leaf stage, the growth of Control and USE15 were less than for M42 and M52 treatments. For spring-sowing, the root weight at harvest time was higher for M52 than the Control treatments. Furthermore, when there was heavy rainfall, the incidence of root cracking was lower for M52 than the other treatments because of much less fluctuation in soil moisture for M52. Even when the water table was controlled, the root form was long and thin when the temperature in the later growth stage was high, as the root form depends on temperature. For summer-sowing, the treatment of water table that were maintained at 52 cm depth were discontinued when it rained after about one month passed since the treatment was started; however, any further rain after this time did not result in injury from excess-moisture and root weight was increased. The incidence of root cracking was low even for treatments in which the water table was temporarily controlled.

Key Words

water table control, carrot, spring-sowing, summer-sowing, root cracking