地下水位制御がホウレンソウの生育ならびに品質に及ぼす影響

誌名	農業研究センター研究報告 = Bulletin of the National Agriculture Research Center
ISSN	02893207
著者名	荒木,陽一 剣持,謙二 濱野,恵 山田,盾
発行元	農林水産省農業研究センター
巻/号	34号
巻号補足	
掲載ページ	p. 1-16
発行年月	2001年2月

農林水産省 農林水産技術会議事務局筑波産学連携支援センター
Tsukuba Business-Academia Cooperation Support Center, Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council Secretariat

AgriKnowledge

農業研究センター研究報告　34, 1 － 16 (2001. 2)
(農研センター研報)

地下水位制御がホウレンソウの生育ならびに品質に及ぼす影響

荒木陽一[*1]・剣持謙二[*2]・濱野　恵[*3]・山田　盾[*4]

目　　次

Ⅰ　緒　言…… 1
Ⅱ　材料および方法…… 2
　1．共通的な実験方法…… 2
　　1）地下水位調節装置…… 2
　　2）栽培概要…… 2
　　3）調査項目…… 3
　2．地下水位の上昇がホウレンソウの生育と品質に及ぼす影響…… 3
　3．地下水位上昇下の遮根シート利用がホウレンソウの生育と品質に及ぼす影響…… 3
　4．地下水位上昇下の遮根シート敷設位置がホウレンソウの生育と品質に及ぼす影響…… 3
　5．地下水位と地下水位の上昇ならびに地下水位上昇下の遮根シート敷設がホウレンソウの根の伸長ならびに酸素消費量に及ぼす影響…… 4
Ⅲ　結　果…… 4
　1．地下水位の上昇がホウレンソウの生育と品質に及ぼす影響…… 4
　2．地下水位上昇下の遮根シート利用がホウレンソウの生育と品質に及ぼす影響…… 6
　3．地下水位上昇下の遮根シート敷設位置がホウレンソウの生育と品質に及ぼす影響…… 7
　4．地下水位と地下水位の上昇ならびに地下水位上昇下の遮根シート敷設がホウレンソウの根の伸長ならびに酸素消費量に及ぼす影響…… 8
Ⅳ　考　察……10
　1．地下水位とホウレンソウの生育との関係…10
　2．地下水位上昇とホウレンソウの生育との関係……11
　3．地下水位上昇に対する遮根シートの効果…11
　4．地下水位と酸素消費量との関係……11
　5．地下水位とホウレンソウの品質との関係…12
Ⅴ　摘　要……12
引用文献……13
Summary……16

Ⅰ　緒　　言

戦後の食糧増産運動で増加を続けてきた米の生産量は，昭和 42 (1967) 年に初めて自給を達成した．しかし，昭和 42 年からの 3 年連続の豊作により，政府在庫米が急増し，米の生産調整を余儀なくされるようになった．この対策として，昭和 44 年に稲作転換対策のパイロット事業，昭和 45 年に米生産調整対策が実施された後，昭和 46 から本格的な米生産調整・稲作転換対策が実施され，現在（平成 12 年）の水田農業経営確立対策に至っている．

この生産調整により，水田での野菜栽培が急増し，平成 10 年度では，転作野菜面積が 124 千 ha に達している（農林水産省統計情報部 2000b）．これは，全転作面積 545 千 ha の 22.8%，全生産調整面積 955 千 ha の 13.0% になる．また，全野菜作面積 560 千 ha（農林水産省統計情報部 2000a）の 22.1% 近くにもなり，今や転作野菜なくして，野菜生産を語れない状

平成12年 6 月14日受付　平成12年10月27日受理
*1　現　野菜・茶業試験場久留米支場
*2　元　農業研究センター
*3　現　野菜・茶業試験場
*4　現　国際農林水産業研究センター

況になっている．

水田での野菜生産に関する研究は昭和35(1960)年頃から散見されるようになり，当初は水田裏作への野菜導入による土地生産性の向上が検討された（今泉ら1960a，1960b，越野1960，肥後1961a，1961b，本多1965，川里1969，岩崎ら1970，川出ら1970a)．その後，より高収益な野菜栽培のために田畑輪換や転換畑での，水稲に代わる野菜栽培の研究がなされるようになった（上田1966，水田ら1968，小田切1968，川出ら1970b)．さらに水田での施設栽培も検討されるようになった（吉沢1970a，1970b，川出ら1970c)．

しかし，水田での野菜栽培には利点がある反面，多くの問題点を抱えており，その典型が過剰な水分による湿害の発生である（石黒1970)．そこで，野菜の耐湿性に関する研究（志佐ら1958)，湿害の原因究明（籠橋ら1970)，湿害を誘起する地下水位の変動（永井ら1985，津高ら1987，小野ら1990)，各種野菜の適正な地下水位（阿部ら1981，中島ら1983，時枝ら1985，太田ら1988)，地下水位制御方法（岩佐1984）等の研究がなされた．

一方，諸外国でも野菜に対する適正な地下水位が検討されている(van Hoorn 1958, Harrisら1962, Goinsら1966, Williamson 1968, Williamsonら1970, Millette 1983, Battilaniら1994, Doddsら1996, Doddsら1997)．

これらの報告をまとめると①地下水位と野菜の生育，収量に関する研究，②地下水位の変動と野菜の生育，収量に関する研究，③地下水位上昇機構の解明に関する研究，④地下水位調節による湿害防止技術に関する研究，等に整理される．しかし，地下水位ならびに地下水位の変動が野菜の品質に及ぼす影響，各種資材等を活用した積極的な湿害防止技術の開発に関する研究は少ない．

そこで，転換畑における高品質野菜の安定生産技術を確立するために，地下水位調節装置を試作し，地下水位ならびに地下水位の変動が野菜の生育，収量ならびに品質に及ぼす影響を明らかにする．また，簡易な湿害防止技術を確立するため，根域制限効果のある遮根シートを用いた湿害防止効果を明らかにする．供試野菜として，転換畑での栽培面積の増加が最も著しいホウレンソウを用いた．

Ⅱ　材料および方法

1. 共通的な実験方法

1) 地下水位調節装置

供試した地下水位調節装置を図1に示す．幅9 m，奥行き1.1 m，高さ45 cmの木枠を組立て，内部にゴムシートを張って水槽とした．水槽底部には径10 mm前後の玉砂利を3 cmの厚さに敷き詰め，その上に幅1.8 m，奥行き0.9 mで高さが45 cm，60 cm，75 cmならびに90 cmの無底の木枠を栽培槽として設置した．設置にあたっては，水槽の両側が等分に空くようにし，一方を給水槽，他方を排水槽とした．また，給水槽と排水槽の間にある栽培槽と水槽の空間には上記の玉砂利を水槽上面まで充填した．栽培槽には農業研究センター水田圃場（茨城県谷和原村）の灰色低地土を，各栽培槽の上部3 cmを残して充填した．地下水位調節装置は2連設置したが，各処理区の反復数は1とした．

排水槽の側面に直径5 cmの孔を，一番低い栽培槽の土壌面から15 cm下と，そこからさらに10 cm下の計2カ所に開けた．この孔を通して余剰水を排出した．一方，給水槽に上水道と連結したカランを設置し，水位が低下した場合に，自動的に給水されるようにした．したがって，給水槽に供給された水は栽培槽下部と側面に充填した玉砂利の孔隙を通って排水槽へと流れることになる．栽培槽の土壌面と水槽の水面との距離を地下水位とした．地下水位を上げるときは，下方の排水孔をゴム栓で閉じることで行った．

2) 栽培概要

は種2週間前に炭酸カルシウムを100kg/10aと堆肥2t/10aを施用した後耕起した．さらに，は種1週間前に施肥を行った．品種‘バーデン’（武蔵野種苗）を供試した．株間10cm，条間15cmで6条播きした．1カ所に3粒は種し，は種後2週間目に2株になるように間引きし，さらには種後4週間目に1株とした．は種後直ちに雨よけを行った．雨よけは栽培槽の木枠にトンネル栽培用の支柱を固定し，降雨が栽培槽内に入ってこないようにビニールフィルムを展張した．

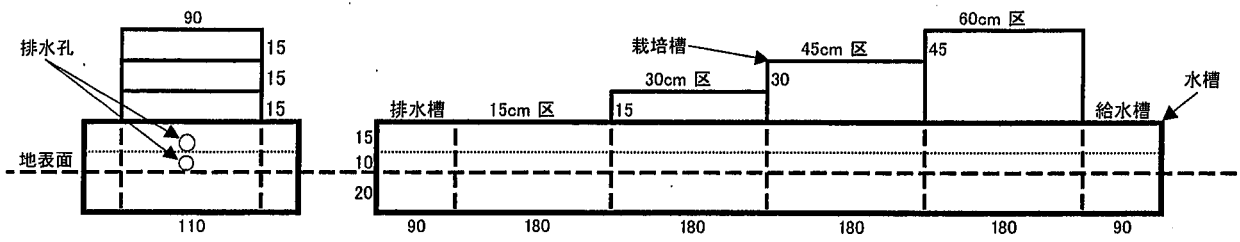


図 1　試作した地下水位調節装置の概略図(cm)

3) 調査項目

土壌水分吸引圧（pF 値）の変化を見るために，ブルドン管式テンシオメーターを各処理区の中央部に 10 cm の深さで設置し，ほぼ毎朝 9 時に測定した．

生育調査を 2 回目の間引き時と収穫時に行った．最大葉長，一株重，最大葉長の葉色ならびに乾物重を測定した．葉色は葉緑素計(ミノルタ SPAD-502)で測定した．

内部品質として，収穫時に糖，アスコルビン酸，硝酸ならびにシュウ酸含量を測定した．糖含量は F-キット（ベーリンガーマンハイム社製）法でグルコース，フルクトースならびにスクロース含量を測定し，アスコルビン酸含量はヒドラジン法で総アスコルビン酸含量を測定した．硝酸とシュウ酸含量は HPLC で測定し，シュウ酸は 0.1 N 塩酸可溶の総シュウ酸を測定した．

測定サンプルの調製は，生育調査の結果から一株重の平均的なサンプルを 12 株選び，それを 3 株ずつ計 4 組に分けた．うち 2 組を糖，硝酸ならびにシュウ酸分析のために凍結真空乾燥し，震盪粉砕器で粉砕した．また，残り 2 組はアスコルビン酸分析のために 10%メタリン酸溶液に浸漬した．

2. 地下水位の上昇がホウレンソウの生育と品質に及ぼす影響

処理区として地下水位一定区と地下水位上昇区を設け，2 連の地下水位調節装置のうち，それぞれ 1 つを充てた．さらに地下水位一定区には地下水位調節装置の下の排水孔を試験開始時から閉じて，地下水位 15 cm，30 cm，45 cm および 60 cm の 4 処理区を設けた．一方，地下水位上昇区には生育中期に地下水位調節装置の下の排水孔を閉じて地下水位を 10 cm 上昇させる 25 → 15cm，40 → 30cm，55 → 45cm，70 → 60cm の 4 処理区を設けた．

肥料として N，P_2O_5，K_2O をそれぞれ 20Kg/10a（硫安），25Kg/10a（過石），15Kg/10a（硫加）施用した．1991 年 9 月 30 日には種した．11 月 5 日（は種後 5 週間目）に地下水位を上昇させ，11 月 26 日（地下水位上昇後 3 週間目）に収穫した．

3. 地下水位上昇下の遮根シート利用がホウレンソウの生育と品質に及ぼす影響

処理区として対照区（無遮根区）と，遮根シート埋設区（遮根区）を設け，2 連の地下水位調節装置のうち，それぞれ 1 つを充てた．また，それぞれに地下水位が異なり，生育中期に地下水位調節装置の下の排水孔を閉じて地下水位を 10cm 上昇させる 25 → 15cm，40 → 30cm，55 → 45cm ならびに 70 → 60cm の 4 処理区を設けた．遮根シートは上昇後の地下水面より 2 cm 上の位置になるように敷設した．

1992 年 10 月 12 日には種し，11 月 9 日（は種後 4 週間目）に地下水位を上昇させた後，12 月 7 日（播種後 8 週間目，地下水位上昇後 4 週間目）に収穫した．

4. 地下水位上昇下の遮根シート敷設位置がホウレンソウの生育と品質に及ぼす影響

処理区として栽培中期に地下水位を上昇させ，上昇後の地下水面より 2 cm 上に遮根シートを敷設するシート上位区と，2 cm 下に敷設するシート下位区を設けた．2 連の地下水位調節装置のうち，それぞれ 1 つを充てた．

1993 年 9 月 27 日には種し，10 月 25 日（播種後 4 週間目）に地下水位を上昇させた後，11 月 22 日（播種後 8 週間目，地下水位上昇後 4 週間目）に収穫した．

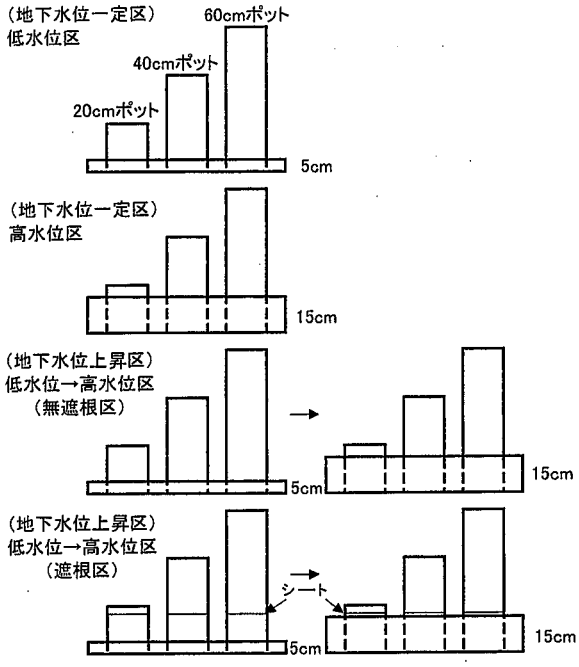


図2　ポット試験区の構成

5. 地下水位と地下水位の上昇ならびに地下水位上昇下の遮根シート敷設がホウレンソウの根の伸長ならびに酸素消費量に及ぼす影響

処理区を図2に示す．地下水位一定区と地下水位上昇区を設け，さらに前者には低水位区と高水位区，後者には無遮根区と遮根区を設けた．

内径12.5cmの塩ビパイプを20cm，40cmならびに60cmの長さに切断し，片面に遮根シートを張り付けた給水マットでパイプの一方の口を塞いで栽培ポットとした．このポットに灰色低地土をそれぞれ2.5kg，5kgおよび7.5kg（風乾土）充填し，肥料として硫安，過リン酸石灰，硫酸カリをそれぞれ成分で1gづつ施用した．また，pH矯正用として炭酸カルシウムを風乾土1kgにつき4gの割合で施用してよく混和した．さらに遮根区のポットには底から16cmの位置に遮根シートを敷いた．これらのポットを低水位区と地下水位上昇区については水で満たされた深さ5cmの水槽に，また，高水位区については深さ15cmの水槽に設置した．

1992年4月23日には種し，5月21日（は種後4週間目）に地下水位上昇区のポットを深さ5cmから深さ15cmの水槽に移した．移動した日とその後1週間目ならびに2週間目に生育調査を行うとともに，根の酸素消費量を測定した．

酸素消費量はO_2アップテスター（タイテック社製）で測定した．各処理区から1ポット供試し，根を静かに洗い出した．根長を測定した後，反応容器に入れ，恒温水槽に設置した．水温は20℃に設定した．

Ⅲ　結　　果

1. 地下水位の上昇がホウレンソウの生育と品質に及ぼす影響

各処理区の土壌水分吸引圧（pF値）の変化を図3に示す．は種後2週間目の第1回間引き時の10月14日は，一部の処理区を除き，どの処理区ともほぼpF1.5前後であった．その後日数の経過とともに，地下水位が低い処理区ほどpF値が上昇した．また，それぞれの地下水位に応じたpF値に達した後は，ほぼその値で推移した．

地下水位を上昇させると，地下水位が高い25→15 cm区ならびに40→30 cm区は直ちにpF値が低下したが，地下水位が低い処理区ほど，日数が経過してからpF値が低下を始め，55→45 cm区では4日目，70→60 cm区では5日目からであった．低下後は上

昇した地下水位に応じたpF値で経過した．地下水位を上昇させる直前（は種後4週間目）の生育を表1に示す．葉の伸長は地下水位が30 cmまでは低いほど促進された．地下水位が30～60 cmでは地下水位の影響は認められず，ほぼ一定であった．地下水位が70 cmでは葉の伸長は抑制された．一株重の増加も同様の傾向を示した．葉色は地下水位15 cmと70 cmで薄く，25～60 cmでは地下水位の影響は認められなかった．

収穫時の生育を表2に示す．地下水位が一定の場合，地下水位60 cmと45 cmでは同程度の葉長であったが，地下水位が45 cmより高くなるにつれて葉の伸長は抑制された．一株重ならびに乾物重も同様の傾向を示し，抽台株数は地下水位が低いほど増加した．しかし，葉の厚みは地下水位が低いほど逆に薄くなる傾向であった．葉色は地下水位15 cmで極端に

表1　地下水位がホウレンソウの初期生育に及ぼす影響[Z]

地下水位	葉長(cm)	一株重(g)	葉色[Y]
15cm	9.7	1.74	32.8
25cm[X]	11.9	2.29	34.7
30cm	15.7	4.19	34.2
40cm[X]	15.2	4.45	36.2
45cm	14.9	4.10	34.1
55cm[X]	14.3	4.83	34.6
60cm	15.5	4.19	34.5
70cm[X]	13.9	3.34	33.8

Z：は種後4週間目，地下水位上昇直前（11月5日）調査
各処理区とも10株の平均値
Y：葉緑素計（ミノルタSPAD-502）示度
X：地下水位上昇区

表2　地下水位がホウレンソウの収穫時生育に及ぼす影響[Z]

処理区	地下水位	葉長(cm)	一株重(g)	乾物重(g)[Y]	葉の厚み[X]	葉色[W]	抽台株数[V]
地下水位一定	15cm	11.7±0.5	3.6±0.2	0.46	0.467±0.011	24.9±0.8	0
	30cm	25.4±0.7	18.6±1.3	2.11	0.416±0.009	40.7±1.3	1
	45cm	28.4±0.7	21.9±1.7	2.21	0.423±0.013	40.0±0.8	4
	60cm	28.1±0.5	19.6±1.3	1.94	0.401±0.012	40.3±1.1	7
地下水位上昇[U]	25→15cm	10.3±0.6	3.5±0.4	0.39	0.446±0.010	28.8±1.2	0
	40→30cm	21.2±0.6	12.3±0.8	1.31	0.420±0.012	28.2±0.8	2
	55→45cm	21.2±0.7	14.1±1.4	1.71	0.436±0.012	33.3±1.1	5
	70→60cm	24.0±0.8	16.4±1.4	1.66	0.414±0.012	38.6±1.1	7

Z：は種後8週間目(11月26日)生育調査，抽台株数を除き各処理区とも30株の平均値±標準誤差
Y：一括乾燥後の平均値
X：農業用厚み計（富士平工業）示度
W：葉緑素計（ミノルタSPAD-502）示度
V：各処理区30株中の抽台株数
U：は種後5週間目（11月5日）に地下水位を10cm上昇

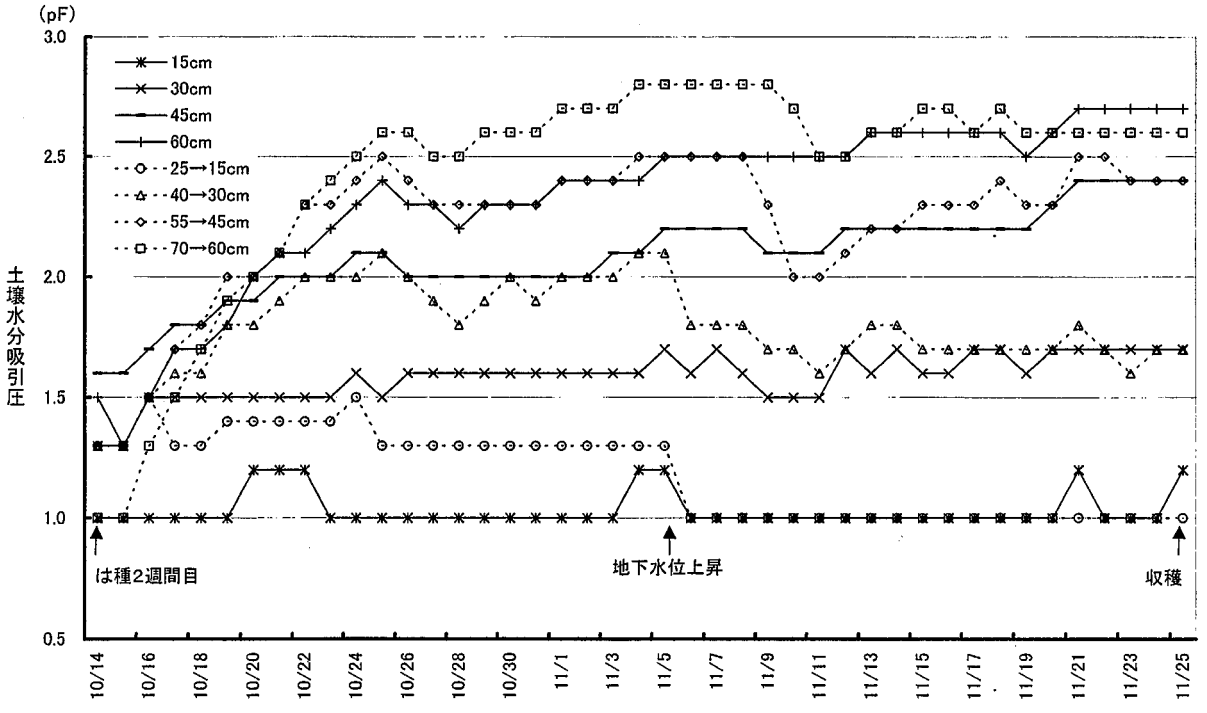


図3　各処理区の土壌水分吸引圧の変化
11月5日に地下水位を上昇

薄い以外はほぼ同じ値であった．

栽培中期に地下水位が上昇した場合，ホウレンソウの生育は地下水位が高いほど抑制された．特に地下水位15 cmで大きく抑制された．葉色は地下水位が高いほど薄くなった．

収穫時の地下水位が同じ処理区同士を比較すると，地下水位が一定の場合より，地下水位が上昇した方が生育は抑制された．特に地下水位30 cmならびに45 cmでの抑制が大きかった．地下水位が上昇する場合の地下水位による生育の違いは，地下水位が一定の場合ほど大きくなかった．特に地下水位15cmと30 cmとの生育差が，地下水位が上昇する場合の方が小さかった．

収穫時の内部品質を表3に示す．地下水位が一定の場合，内部品質としての糖ならびに総アスコルビン酸含量は地下水位が低いほど減少した．これに対して，硝酸ならびに総シュウ酸含量は逆に増加した．地下水位と内部品質との関係は，栽培中期に地下水位が上昇しても，ほぼ同じであった．また，地下水位一定区と上昇区とを比較して，地下水位上昇が内部品質に及ぼす影響は認められなかった．

2. 地下水位上昇下の遮根シート利用がホウレンソウの生育と品質に及ぼす影響

表3　地下水位がホウレンソウの内部品質に及ぼす影響

処理区	地下水位	mg/100gFW 糖[Z]	総アスコルビン酸	硝酸	総シュウ酸
地下水位一定	15cm	1333	157	103	638
	30cm	941	122	130	651
	45cm	609	90	178	670
	60cm	588	85	248	679
地下水位上昇	25→15cm	1232	162	106	520
	40→30cm	1387	111	116	568
	55→45cm	936	98	132	697
	70→60cm	610	84	244	686

Z：グルコース＋フルクトース＋スクロース

表4　遮根シートの利用がホウレンソウの初期生育に及ぼす影響[Z]

遮根シート	地下水位[Y]	葉長(cm)	一株重(g)	乾物重(mg)[X]	葉色[W]
無	25(→15)cm	9.0	1.8	151	35.4
	40(→30)cm	10.3	2.2	182	34.7
	55(→45)cm	10.8	2.7	210	34.8
	70(→60)cm	11.7	3.2	250	34.2
有	25(→15)cm	12.3	3.1	244	34.5
	40(→30)cm	11.8	3.3	253	33.5
	55(→45)cm	11.8	3.4	262	33.7
	70(→60)cm	12.1	3.5	279	35.4

Z：は種後4週間目，地下水位上昇直前（11月9日）調査
　各処理区とも40株の平均値
Y：（ ）内は上昇後の地下水位
X：一括乾燥後の平均値
W：葉緑素計（ミノルタSPAD-502）示度

地下水位を上昇させる直前の生育を表4に示す．葉長は無遮根区では水位が低いほど大きかったが，遮根区では地下水位にかかわらずほぼ一定であった．一株重は遮根シートの有無にかかわらず，地下水位が低いほど増加する傾向であった．地下水位が同じならば遮根区が無遮根区よりも重かった．葉色には地下水位の影響は見られず，全処理区ほぼ同じ値であった．

地下水位上昇後の葉色の変化を図4に示す．葉色は地下水位上昇後1週間目までは大幅に濃くなった．その後，無遮根区では25→15 cm区が徐々に薄くなったが，地下水位がそれより低い処理区では地下水位上昇後3週間目まで徐々に濃くなった後，薄くなり始めた．これに対して，遮根区ではわずかな変動を示しながら推移した．無遮根区と遮根区を比較すると，いずれの地下水位とも無遮根区が遮根区よりも濃かった．

収穫時の生育を表5に示す．無遮根区の場合，葉長は地下水位30 cmまではほぼ同じであったが，地下水位が30 cmより低くなると，葉の伸長が大きく促進された．一株重も同じ傾向を示した．これに対して，遮根区の場合，葉長の伸長ならびに一株重の増加とも，地下水位が低いほど促進された．

地下水位が同じ処理区同士を比較すると，地下水位が最も高い15 cm区では，生育はほぼ同じであった．しかし，地下水位がこれよりも低いと遮根区の方が生育が促進された．特に地下水位30 cmならび

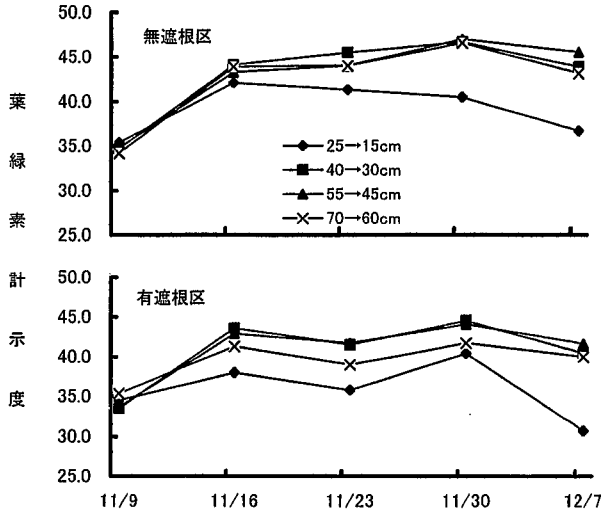


図4　地下水位の上昇が葉色の変化に及ぼす影響
ミノルタSPAD-502示度
は種後4週間目（11月9日）に地下水位を10cm上昇
地下水位上昇後，4週間目（12月7日）に収穫

表5　地下水位上昇下の遮根シートの利用がホウレンソウの生育に及ぼす影響[Z]

遮根シート	地下水位	葉長(cm)	一株重(g)	調製重(g)	乾物重(mg)[Y]	乾物率%
無	25→15cm	15.9±0.5	12.1±0.9	11.0±0.8	1.43	11.8
	40→30cm	16.4±0.7	13.4±1.4	12.4±1.3	1.54	11.5
	55→45cm	21.1±0.8	21.6±1.6	20.4±1.6	2.44	11.3
	70→60cm	27.1±0.6	31.5±1.9	30.1±1.8	3.02	9.6
有[X]	25→15cm	14.5±0.5	8.9±0.7	7.1±0.7	1.13	12.7
	40→30cm	23.4±0.5	23.8±1.4	22.2±1.3	2.64	11.1
	55→45cm	26.7±0.6	31.9±2.4	30.2±2.3	2.93	9.2
	70→60cm	29.1±0.6	36.8±1.9	35.2±1.8	3.27	8.9

Z：は種後8週間目，地下水位上昇後4週間目（12月7日）収穫，調査
　各処理区とも21株の平均値±標準誤差
Y：一括乾燥後の平均値
X：上昇後の地下水位面より2cm上になるように敷設

表6　地下水位上昇下の遮根シート敷設がホウレンソウの内部品質に及ぼす影響[Z]

		mg／100gFW			
遮根シート	地下水位	糖[Y]	総アスコルビン酸	硝酸	総シュウ酸
無	25→15cm	4567	124	48	594
	40→30cm	2026	112	136	722
	55→45cm	1360	108	259	1034
	70→60cm	1137	95	367	884
有[X]	25→15cm	5398	134	49	388
	40→30cm	2782	99	138	589
	55→45cm	1580	94	365	516
	70→60cm	1457	89	378	464

Z：は種後8週間目，地下水位上昇後4週間目(12月7日)収穫，調査
Y：グルコース＋フルクトース＋スクロース
X：遮根シートを上昇後の地下水面より2cm上に敷設

表7　遮根シートの敷設位置がホウレンソウの初期生育に及ぼす影響[Z]

遮根シート	地下水位[Y]	葉長(cm)	一株重(g)	葉色[X]
上[W]	25(→15)cm	18.6	6.8	32.7
	40(→30)cm	20.6	7.9	32.7
	55(→45)cm	18.9	7.4	32.2
	70(→60)cm	17.3	6.0	32.5
下[V]	25(→15)cm	17.7	6.1	32.7
	40(→30)cm	18.5	6.9	33.5
	55(→45)cm	18.5	6.6	32.8
	70(→60)cm	18.4	7.0	33.1

Z：は種後4週間目，地下水位上昇直前（11月9日）調査
　各処理区20株の平均値
Y：（　）内は上昇後の地下水位
X：葉緑素計（ミノルタSPAD-502）示度
W：上昇後の地下水面より2cm上に遮根シートを敷設
V：上昇後の地下水面より2cm下に遮根シートを敷設

に45cmで大きく促進された．

収穫時の内容成分量を表6に示す．糖含量は遮根シートの有無にかかわらず地下水位が低いほど減少した．同じ地下水位ならば遮根区が無遮根区よりも多かった．総アスコルビン酸含量も地下水位が低いほど減少し，25→15cm区を除き，遮根区が無遮根区よりも少なかった．

硝酸含量は地下水位が低いほど増加した．特に遮根区で，地下水位が低い場合に大きく増加した．総シュウ酸含量は無遮根区の場合は地下水位45cm，遮根区の場合は30cmで最も多く，地下水位がそれよりも高くても低くても減少した．同じ地下水位ならば，遮根区の方が総シュウ酸含量は少なかった．

3. 地下水位上昇下の遮根シート敷設位置がホウレンソウの生育と品質に及ぼす影響

地下水位を上昇させる直前の生育を表7に示す．遮根シート上位区では地下水位40→30cm区で生育が最も促進され，地下水位がこれより高くても低くても生育は抑制された．これに対して，遮根シート下位区では地下水位が最も高い25→15cm区で生育が抑制されたが，地下水位がこれより低い場合には地下水位の影響は認められなかった．葉色は遮根シートの敷設位置，地下水位にかかわらずほぼ同じであった．

地下水位上昇後の葉色の変化を図5に示す．いずれの処理区とも地下水位上昇後2週間目までは葉色が急激に濃くなって処理間差が大きくなった．その後，遮根シート上位区では25→15cm区と70→60cm区が，また，遮根シート下位区では25→15cm区を除くすべての処理区が薄くなり始め，残りの処理区も地下水位上昇後3週間目以降葉色は薄くなった．

収穫時の生育を表8に示す．葉色は遮根シート上位区では地下水位が最も低い70→60cm区で最も薄かった以外は地下水位にかかわらずほぼ同じ値であった．遮根シート下位区でも地下水位が低い70→60cm区ならびに55→45cm区で葉色は薄く，地下水位が高いほど葉色も濃くなった．遮根シートの敷設位置による葉色の違いは認められなかった．

葉長は遮根シートの敷設位置にかかわらず，地下水位が低いほど大きくなった．また，地下水位が同じならば，地下水位の高低にかかわらず，遮根シート下位区の葉長が上位区より抑制された．一株重ならびに乾物重も同様の傾向を示した．特に一株重は

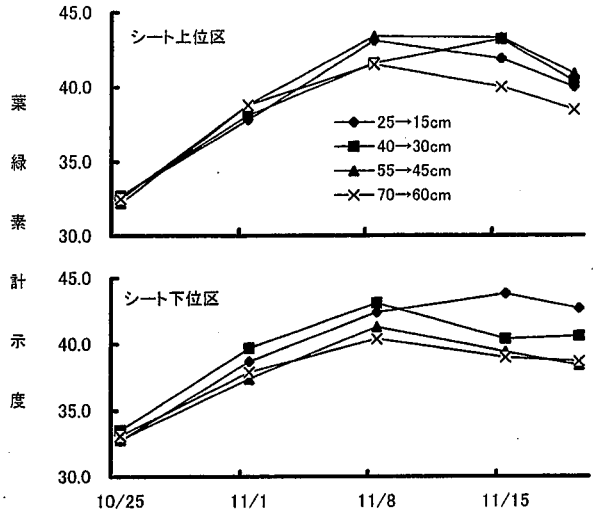


図5　地下水位の上昇が葉色の変化に及ぼす影響
ミノルタ SPAD-502 示度
は種後4週間目（10月25日）に地下水位を10cm上昇
地下水位上昇後，4週間目（11月22日）に収穫
シート上位区：上昇後の地下水面より2cm上に遮根シートを敷設
シート下位区：上昇後の地下水面より2cm下に遮根シートを敷設

表8　遮根シートの敷設位置がホウレンソウの収穫時生育に及ぼす影響[Z]

遮根シート	地下水位	葉長(cm)	一株重(g)	乾物重(g)[Y]	葉色[X]
上[W]	25→15cm	36.1±1.2	39.3±3.3	3.12	40.0±0.9
	40→30cm	40.4±1.2	52.7±2.6	3.66	40.4±0.9
	55→45cm	43.4±1.0	56.0±2.8	3.88	40.9±0.7
	70→60cm	43.3±0.8	57.9±2.7	3.92	38.5±0.8
下[V]	25→15cm	29.0±1.1	24.4±3.2	2.10	42.7±1.0
	40→30cm	30.1±0.9	35.6±3.5	2.66	40.5±1.1
	55→45cm	34.8±1.1	43.3±3.6	2.73	38.4±0.9
	70→60cm	36.1±0.9	46.1±3.7	2.85	38.7±0.9

Z：は種後8週間目，地下水位上昇後4週間目（11月22日）収穫，調査
各処理区とも30株の平均値±標準誤差
Y：一括乾燥後の平均値
X：葉緑素計（ミノルタ SPAD-502）示度
W：上昇後の地下水面より2cm上に遮根シートを敷設
V：上昇後の地下水面より2cm下に遮根シートを敷設

地下水位の上昇による抑制の度合いが，地下水位が高いほど大きかった．

収穫時の内部品質を表9に示す．糖含量は遮根シートの敷設位置にかかわらず地下水位が低いほど減少した．また，地下水位にかかわらず遮根シート下位区が上位区よりも少なかった．総アスコルビン酸含量は遮根シートの敷設位置にかかわらず地下水位30cm区で最も多く，地下水位がそれよりも低下するにつれて減少した．しかし，遮根シート敷設位置の影響は認められなかった．硝酸含量は遮根シートの敷設位置にかかわらず地下水位が低いほど増加した．総シュウ酸含量は遮根シートの敷設位置により傾向が異なり，遮根シート上位区では地下水位30 cm区が最高で，地下水位がそれよりも低下するにつれて減少した．下位区では地下水位45 cm区までは地下水位が低下するにつれて増加する傾向がみられた．

表9　遮根シート敷設位置がホウレンソウの内部品質に及ぼす影響[Z]

遮根シート	地下水位	mg／100gFW 糖[Y]	総アスコルビン酸	硝酸	総シュウ酸
上[X]	25 → 15cm	1876	85.6	352	639
	40 → 30cm	1669	96.7	409	957
	55 → 45cm	961	78.7	605	745
	70 → 60cm	850	58.6	636	667
下[W]	25 → 15cm	1362	77.3	404	826
	40 → 30cm	1356	90.1	465	845
	55 → 45cm	1101	79.9	572	880
	70 → 60cm	734	67.4	631	740

Z：は種後8週間目，地下水位上昇後4週間目（11月22日）収穫，調査
Y：グルコース＋フルクトース＋スクロース
X：上昇後の地下水面より2 cm上に遮根シートを敷設
W：上昇後の地下水面より2 cm下に遮根シートを敷設

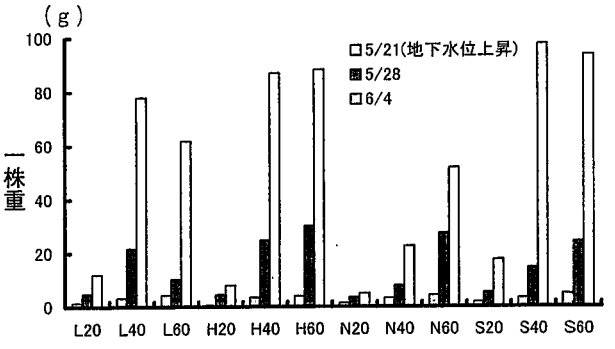


図6　地下水位上昇後の一株重の変化
L：低水位区（5cm）　N：地下水位上昇（5cm→15cm）無遮根区
H：高水位区（15cm）　S：地下水位上昇（5cm→15cm）遮根区
数値はポットの高さ20, 40, 60cm

4. 地下水位と地下水位の上昇ならびに地下水位上昇下の遮根シート敷設がホウレンソウの根の伸長ならびに酸素消費量に及ぼす影響

地下水位上昇後の一株重の変化を図6に示す．地下水位を上昇させた5月21日の一株重には地下水位の影響が認められ，いずれの処理区とも地下水位が低いほど一株重は重かった．地下水位上昇後1週間目には，地下水位上昇の影響は認められないが，地下水位の影響は引き続き認められ，地下水位が低いほど一株重の増加が促進される傾向であった．地下水位上昇後2週間目には地下水位上昇の影響も認められ，無遮根区では一株重の増加が低水位区ならびに高水位区よりも抑制されたが，遮根区では逆に促進された．

地下水位上昇後の葉色の変化を図7に示す．地下水位上昇時には既に地下水位の影響が認められ，地下水位が低いほど葉色が薄かった．地下水位上昇後1週間目では，地下水位上昇時に比べて，無遮根区を除いた処理区で葉色が濃くなり，しかも地下水位

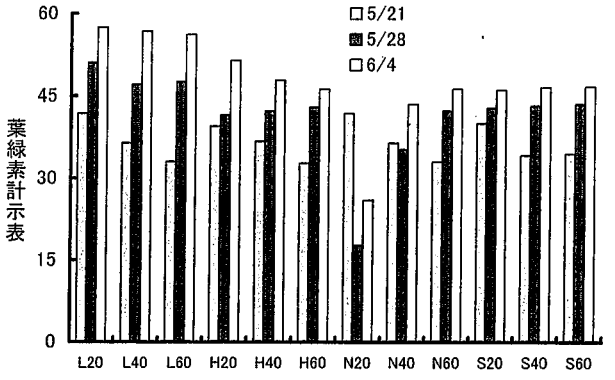


図７　地下水位上昇後の葉色の変化
L：低水位区(5cm)　N：地下水位上昇(5cm→15cm)無遮根区
H：高水位区(15cm)　S：地下水位上昇(5cm→15cm)遮根区
数値はポットの高さ20, 40, 60cm

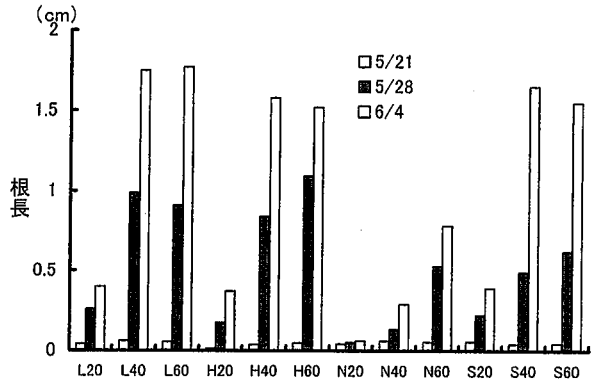


図８　地下水位上昇後の根長の変化
L：低水位区(5cm)　N：地下水位上昇(5cm→15cm)無遮根区
H：高水位区(15cm)　S：地下水位上昇(5cm→15cm)遮根区
数値はポットの高さ20, 40, 60cm

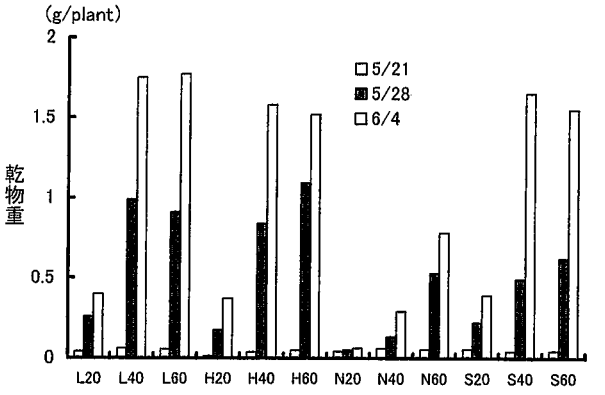


図９　地下水位上昇後の根乾物重の変化
L：低水位区(5cm)　N：地下水位上昇(5cm→15cm)無遮根区
H：高水位区(15cm)　S：地下水位上昇(5cm→15cm)遮根区
数値はポットの高さ20, 40, 60cm

の影響が認められなくなった．これに対して無遮根区では傾向を異にし，地下水位が高いＮ20区では，地下水位上昇により葉色が薄くなった．また，地下水位が低いほど葉色は濃くなった．

地下水位上昇後の根長の変化を図８に示す．地下

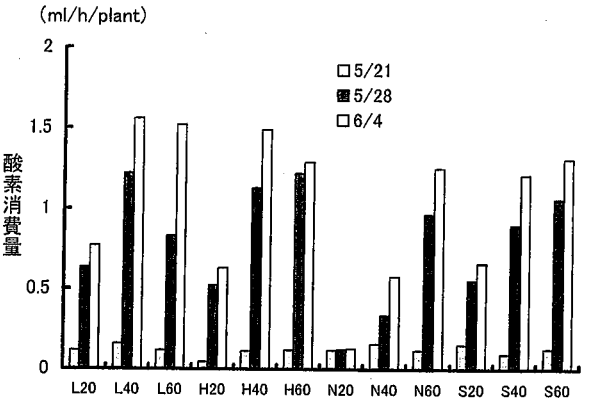


図10　地下水位上昇後の１株当たり根の酸素消費量の変化
L：低水位区(5cm)　N：地下水位上昇(5cm→15cm)無遮根区
H：高水位区(15cm)　S：地下水位上昇(5cm→15cm)遮根区
数値はポットの高さ20, 40, 60cm

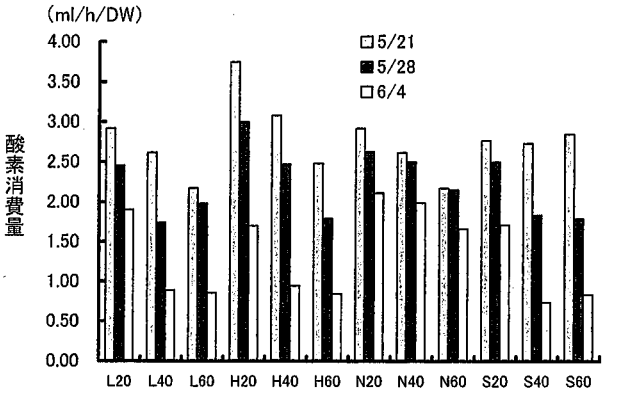


図11　地下水位上昇後の単位根乾物当たりの酸素消費量の変化
L：低水位区(5cm)　N：地下水位上昇(5cm→15cm)無遮根区
H：高水位区(5cm)　S：地下水位上昇(5cm→15cm)遮根区
数値はポットの高さ20, 40, 60cm

水位上昇時の５月21日では，高水位区は地下水位が低いほど根の伸長は促進されたが，他の処理区では根長が40 cm＞60 cm＞20 cmの順であった．地下水位上昇１週間後の５月28日では，いずれの処理区とも地下水位が低いほど根長は長かったが，無遮根区のＮ20ならびにＮ40区では根腐れにより地下水位上昇時より根長が短くなった．地下水位上昇後２週間目も地下水位が低いほど根長は長く，同じ地下水位を比較すると，おおむね低水位区＞シート区＞高水位区＞無遮根区の順であった．

地下水位上昇後の根乾物重の変化を図９に示す．地下水位の上昇により，無遮根区の根乾物重の増加はわずかであったが，遮根区では大きく増加し，地下水位上昇後２週間目には低水位区と高水位区の中間的な値となった．

地下水位上昇後の１株当たりの根の酸素消費量の変化を図10に示す．低水位区に対して，地下水位の

上昇により，1株当たりの根の酸素消費量は減少した．減少の程度は遮根区より無遮根区の方が大きかった．

地下水位上昇後の単位根乾物重当たりの根の酸素消費量の変化を図11に示す．低水位区に対して，地下水位の上昇により，無遮根区では単位根乾物重当たりの根の酸素消費量が大きく増加したが，遮根区は低水位区と同程度の値であった．

Ⅳ 考 察

1. 地下水位とホウレンソウの生育との関係

地下水位と野菜の生育との関係では，多くの報告がなされている．ニンジンの収量は地下水位10 cmで有意に少なく，20 cm位深では地下水位による収量差は見られなかった（Millette 1983）．一方，タマネギの収量は地下水位が40cmより高いと70 cmに比して有意に少なかった（Millette 1983）．キュウリでは地下水位15 cmでは過繁茂により減収し，30 cmでは前期多収，後期減収であるが，45 cmでは後期まで樹勢が維持できた（時枝ら1985）．地下水位が一定に維持されているライシメータで生育しているサヤインゲンの収量は，地下水位が深くなるほど増加し，最高収量は地下水位61-72cmで得られた（Williamson 1968）．傾斜圃場の加工用トマトの収量は，かん水条件では地下水位の低下につれて直線的に増加するが，無かん水では地下水位が110 cmより低くなると増加が抑制され，110 cmでかん水区の34%，150 cmで50%の減少であった（Battilaniら1994）．このように，野菜に対する最適な地下水位は種類によって大きく異なっている．

しかし，ホウレンソウに関する報告は少ない．本実験では農業研究センター水田圃場（谷和原）の灰色低地土を充填した地下水位調節装置を試作し，地下水位がホウレンソウの生育と品質に及ぼす影響を検討した．その結果，栽培期間中地下水位が一定の場合には，地下水位45 cmまでは地下水位が低いほど生育は促進され，地下水位が45 cmより低くても生育の促進は見られず，地下水位45 cmとほぼ同じであった．

このような傾向を示す野菜としてエンドウ（van Hoorn 1958），キャベツならびにカボチャ（Williamson 1968），ニンジン（阿部ら1981），インゲンならびにプリンスメロン（中島ら1983）などが報告されている．

地下水位の影響は野菜の種類だけでなく，土壌の種類によっても異なり，トマトではいずれの土壌とも地下水位が低いほど生育は促進されたが，サヤエンドウでは供試した3土壌それぞれで反応が異なった（Goinsら1966）．砂壌土を充填した地下水位調節装置上のトマトでは，収量と品質の兼ね合いから地下水位60-80 cmが適していた（Doddsら1997）．砂地土壌ではダイコンの根重ならびに根長は地下水位が高いほど減少し，地下水位が55 cmより高くなると下部形状の悪化，よこしま症状，細根発生の増加など，顕著な外観品質の低下が認められた（太田ら1988）．有機質土壌ではタマネギ，ジャガイモ，ペパーミント，ニンジンならびにスイートコーンの収量は，地下水位60 cm位深では地下水位にかかわらず同じであるが，40 cmでは大きく低下した（Harrisら1962）．細粒灰色低地土の転換畑では，インゲン，タマネギ，夏まきキャベツ，レタス，サトイモ，ショウガ，バレイショ，プリンスメロン等の野菜は，地下水位40 cm位深が栽培の上限とされた（中島ら1983）．本実験では灰色低地土を供試したが，土壌の種類によってはホウレンソウの適正な地下水位は異なることが予想され，ホウレンソウを導入しようとする土壌ごとに検討する必要があると考えられる．

Williamsonら（1970）は地下水位については2つの限界深度があると述べている．根系がある最低レベルの通気を要求することによって決まる上限と，水分不足による枯死や植物生産の減少を防ぐために根系に十分な水を供給する下限である．この限界深度を明らかにすることは，一定あるいは変動地下水位が利用できるかどうか，あるいはいかに利用するかを決定する際に有益であると述べている．また，地下水位には，①土壌表面から任意の深さに位置している一定地下水位で，終始厳密な許容範囲内に維持されている，②変動地下水位で，ある期間根圏の中にまで上昇してくる，③根系より十分下方に位置しており，土壌表面に注水する事によってだけ湛水が引き起こされる，④短期間土壌表面あるいはそれ以上の水位になる，という4つの状況がある．今回

の実験ではこのうちの①と②の条件下で実験を行ったが，転換畑の状態によっては，③あるいは④の条件下での検討も必要と考えられる．

2. 地下水位上昇とホウレンソウの生育との関係

実際栽培では栽培期間中地下水位が一定であるという条件は少なく，降雨等により地下水位が変動するのが一般的である．地下水位の変動には地下水位の上昇と低下があるが，前述の地下水位一定の試験結果からも明らかなように，適正地下水位に対して地下水位が高いほうが生育の抑制程度が大きいことから，本実験では地下水位上昇の影響を検討した．

その結果，栽培中期に地下水位が上昇した場合，ホウレンソウの生育は地下水位が高いほど抑制された．収穫時の地下水位が同じ処理区同士を比較すると，地下水位が一定の場合より，地下水位が上昇した方が生育は抑制された．

地下水位変動の影響を検討した報告は少なく（Williamsonら1970），時枝ら（1985）が灰色土壌粘土マンガン型の佐賀統を用いた実験では，キュウリの生育は地下水位が45 cmから10 cmに上昇することで一時的に停滞し，収量は一定水位15 cmより45→15 cmの方が減収した．

本実験での地下水位の上昇はわずか10 cmで，時枝ら（1985）のキュウリの実験での地下水位上昇30 cmに比べて1/3であるが，ホウレンソウの生育は大きく抑制された．これは，キュウリの根系は概して浅く（藤枝1977），しかも移植栽培が主体であるため，地下水位上昇の影響が小さいのに対して，ホウレンソウの根系は直根型（芦澤1982）で，しかも直播栽培であるため，地下水位上昇の影響が大きいと考えられる．

3. 地下水位上昇に対する遮根シートの効果

遮根シートを野菜栽培に用いた事例としては，トマト青枯病防除とトマトの高糖度果実生産のための根域制限栽培がある．前者は遮根シートを地下25 cm位に敷き，その上の土壌を消毒してからトマトを定植，栽培するという方法で，トマト根が青枯病菌密度の高い土壌深部に伸長することを遮断することで，発病を防止している（上原1993）．一方，後者は同様の方法でトマト根が土壌水分の多い土壌深部に伸長することを妨げ，水切りをしやすくすることで，高糖度果実生産を図っている（阿部ら1994，松崎ら1994）．また，遮根シートを用いて根箱を作成し，エンドウの根系を調査する手法を確立した報告もある（有馬ら1992）．

本実験では簡易な湿害防止技術を確立するため，根域制限効果のある遮根シートを用いた湿害防止効果を検討した．その結果，遮根シートの敷設により，地下水位上昇に伴うホウレンソウの生育阻害は軽減され，この軽減効果は地下水位が浅いほど大きいことが明らかになった．地下水位25→15 cm区で遮根区が無遮根区より生育が抑制されたのは，遮根シートの敷設位置が当初計画よりも深く，上昇後の地下水面が遮根シートよりも上に来たために，湿害を被った可能性が考えられる．このことは遮根シートの敷設位置の検討からも明らかで，遮根シートの敷設位置が上昇後の地下水面より下にあると，ホウレンソウの生育は抑制されることが明らかになった．この原因として，直根性のホウレンソウの根系は，遮根シートに達した後，横方向に伸長して遮根シート上でルートマットを形成し，このルートマット全体が上昇してきた地下水に水没したために，酸素不足等で湿害を被ったと考えられる．

それゆえ，地下水位上昇によるホウレンソウの生育抑制を防止するために遮根シートを用いる場合には，その敷設深度に注意し，地下水位が遮根シートを越えて上昇しないよう，別途，暗渠等の設置を考える必要がある．

4. 地下水位と酸素消費量との関係

根も酸素呼吸をすることで活動に必要なエネルギーを得ているが，過剰な土壌水分は空気の供給を妨げ，エネルギー依存の養水分吸収や代謝を阻害する（阿部1994）．この状態が長く続けば，根の内部組織の崩壊や根腐れを引き起こし，根系の縮小や地上部の生育抑制へとつながる．

地下水位の上昇に伴うホウレンソウの生育抑制も同様の経過を辿ったと考えられ，ポット試験により，地下水位の上昇が根の伸長と根の酸素消費量に及ぼす影響を調査した．

その結果，地下水位が高いほど根長は短く，地下水位の上昇で根の伸長が抑制され，遮根シートの敷設でその抑制が軽減されることが明らかになった．また，地下水位の上昇により，無遮根区の根乾物重

の増加はわずかであったが，遮根区では大きく増加した．

地下水位上昇後，遮根シートの有無にかかわらず1株当たりの根の酸素消費量は減少したが，減少の程度は無遮根区の方が大きかった．一方，単位根乾物重当たりの根の酸素消費量は，無遮根区で大きく増加した．

それゆえ，本実験において地下水位の上昇による地上部の生育抑制は，いわゆる根の活性（単位根乾物重当たりの根の酸素消費量）の低下が主原因ではなく，根の崩落による根系の縮小（根長の短小化あるいは乾物重の減少）が原因と考えられた．

今回の実験では，ホウレンソウの根がかなり伸長した段階で地下水位を上昇させ，上昇後かなり長い期間その状態を保持したために，根腐れという，かなり強い湿害を受けたと考えられるが，生育ステージあるいは地下水位上昇の期間によっては，根の活性の低下による生育の抑制もあると予想され，実際栽培に応じた細かな検討も必要と考えられる．

5. 地下水位とホウレンソウの品質との関係

ホウレンソウの品質に関する試験結果についてはいくつか報告されており，木下ら（1988）はホウレンソウの作期，品種と糖，シュウ酸ならびに硝酸含量との関係を検討している．目黒ら（1991）はホウレンソウの内部品質指標とその簡易判定法について検討している．渡邉ら（1987，1988）は水耕栽培での水分ストレスとホウレンソウの品質との関係を検討している．杉山ら（1992），広岡ら（1992）は培養液の無機成分濃度とホウレンソウのシュウ酸濃度との関係を検討している．しかし，地下水位とホウレンソウの品質との関係を検討した報告は見受けられない．

そこで，本報告では地下水位の上昇に絡めて，ホウレンソウの品質の変化を調査した．

その結果，地下水位が一定の場合，地下水位が低いほど糖ならびに総アスコルビン酸含量は減少し，硝酸ならびに総シュウ酸含量は増加した．しかし，地下水位の上昇や遮根シートの敷設ならびに敷設位置は，ホウレンソウの内部品質に影響を及ぼさなかった．

ホウレンソウの品質については生育との関係からいくつか検討され，生育が旺盛なほど糖やアスコルビン酸含量は少なく，逆に硝酸やシュウ酸含量が高いことが報告されている（香川 1997）．また，ホウレンソウが高温等のストレスに遭遇すると，生育は抑制され，糖やアスコルビン酸含量は増加するが，硝酸やシュウ酸含量は減少することが報告されている（荒木ら 1995）．

本実験では地下水位が高いほどホウレンソウの生育は抑制され，糖ならびにアスコルビン酸含量は増加し，硝酸ならびにアスコルビン酸含量は減少したが，地下水位も高温と同じようにホウレンソウの内部品質に影響を及ぼしたと考えられる．

ホウレンソウの内部品質のうち，アスコルビン酸とシュウ酸ならびに硝酸の代謝は相互に関連しており，またアスコルビン酸はヘキソースリン酸を起源として，D－グルコースを出発物質とすると言われている（米山ら 1992）．従って，これら4つの物質は相互に関連しており，単純に特定の物質を増減するのは難しいと考えられる．

ところで，本試験において地下水位がホウレンソウの品質に及ぼす影響を3年間にわたって検討してきたが，調査した4成分の中で硝酸の年次変動が大きかった．特に3年目の硝酸含量が多かったが，この年は試験期間中好天が続き，その結果栽培期間が同じであるにもかかわらず，ホウレンソウの生育が前2年間よりも旺盛になり，そのために窒素吸収量が増加したものと考えられる．また，3年連続の試験のため，肥料の集積もあったものと思われる．

V 摘 要

転換畑における高品質野菜の安定生産技術を確立するために，地下水位調節装置を試作し，地下水位ならびに地下水位の変動が野菜の生育，収量ならびに品質に及ぼす影響を明らかにする．また，簡易な湿害防止技術を確立するため，根域制限効果のある遮根シートを用いた湿害防止効果を明らかにする．供試野菜として，転換畑での栽培面積の増加が最も著しいホウレンソウを用いた．得られた主要な成果は以下の通りである．

1. 地下水位が一定の場合，地下水位が低いほどホウ

レンソウの生育は旺盛となる．しかし，内部品質の糖ならびに総アスコルビン酸含量は減少し，硝酸ならびに総シュウ酸含量は増加する．

2. 栽培中期に地下水位が10 cm上昇すると，初期の地下水位が70 cmであってもホウレンソウの生育は阻害される．地下水位の上昇が内部品質に及ぼす影響は認められない．
3. 遮根シートの敷設により，地下水位上昇に伴うホウレンソウの生育阻害は軽減される．
4. 地下水位が遮根シートより上の根域まで上昇すると，ホウレンソウの生育は遮根シートが無いとき以上に阻害される．
5. 地下水位の上昇により，一株当たりの根の酸素消費量は減少する．しかし，単位根乾物重当たりの酸素消費量は大きく増加する．

引用文献

1. 阿部盟夫・古野昭一郎・内田文雄（1981）．火山灰水田における効果的水利用に関する研究 第3報　転換畑における地下水位の高低と導入作物の生育について．栃木農試研報 27:29-40.
2. 阿部晴夫・飯塚　浩・茂木正道（1994）．簡易な根域水分制御システムの開発．群馬農業研究 D園芸　8:11-25.
3. 阿部　淳（1994）．根と水（1）．根研究会刊．根ハンドブック．p107-108. 根研究会、東京.
4. 荒木陽一・井上昭司・村上健二・岩波　壽・野口正樹（1995）．高温期におけるホウレンソウの安定生産技術の開発（第2報）被覆、遮光、マルチ資材の組合わせがホウレンソウの収量、品質に及ぼす影響．園学雑 64（別1）：326-327.
5. 有馬　進・田中典幸・原田二郎・松尾孝則（1992）．作物根系の調査法に関する研究　第3報　遮根シートを用いた平面的根系の形成法．佐賀大農彙 73：83-88.
6. 芦澤正和（1982）．ホウレンソウ．西貞夫監修．野菜園芸ハンドブック．p970-985. 養賢堂，東京.
7. Battilani,A. and P.Mannini (1994). Influence of water table depth on the yield and quality of processing tomatoes.Acta Hort.367：295-298.
8. Dodds, T. G., L.Trenholm and C. A. Madramootoo (1996). Effect of watertable and fertilizer management on susceptibility of tomato fruit to chilling injury. J.Amer.Soc.Hort.Sci.121：525-530.
9. Dodds, T.G., L.Trenholm, A.Rajabipour, C. A. Madramootoo and E.R.Norris (1997). Yield and quality of tomato fruit under water-table management. J.Amer. Soc. Hort. Sci. 122 ： 491-498.
10. 藤枝国光（1977）．キュウリ．清水茂監修．野菜園芸大事典．p775-796. 養賢堂、東京.
11. Goins T., J.Lunin and H.L.Worley (1966). Water table effect on growth of tomatoes, snap beans and sweet corn. Trans. ASEA 9：530-533.
12. Harris C.I., H.T.Erickson, N.K.Ellis and J.E.Larson (1962). Water-level control in organic soil, as related to subsidence to nitrogen. Soil Sci.94：158-161.
13. 広岡幹也・杉山信男（1992）．ホウレンソウの葉のシュウ酸濃度に及ぼす生長速度の影響．園学雑 61：575-579.
14. 肥後良造（1961）．水田導入蔬菜の種類と栽培．農及園 36：1317-1320.
15. 肥後良造（1961）．水田導入蔬菜の種類と栽培［2］農及園 36：1479-1481.
16. 本多藤雄（1965）．年中行事そ菜栽培の新しい技術－水田裏作そ菜の問題点－．農及園 40：1667-167.
17. 今泉 寛・加藤智通・横池大次郎（1960a）．水田に於けるトマトと水稲の両立栽培〔1〕．農及園 35： 501-504.
18. 今泉 寛・加藤智通・横池大次郎（1960b）．水田に於けるトマトと水稲の両立栽培〔2〕．農及園 35： 649-651.
19. 石黒嘉門（1970）．水田作そ菜の経営と技術．農及園 45：230-234.
20. 岩佐正利（1984）．野菜導入のための地下水位制．九農研 46：10-12.
21. 岩崎徳海・井上吉治（1970）．福岡県におけるニンジンの水田裏作トンネル栽培．農及園 45：51-56.
22. 香川　彰（1997）．高品質ホウレンソウの栽培

生理. p63-91. いしずえ、東京.
23. 籠橋 悟・川西英之・小島昌弘・東 駿次・松村安治（1970）. 水田導入そ菜類の生育に及ぼす土壌 通気および土塊の大きさの影響に関する研究. 東近農試研報 20：100-121.
24. 川出武夫・小島昌弘・木下隆雄・穂積清之・東駿次（1970a）. 土壌水分の差異とそ菜の生育に関する研究（第1報）土壌水分の差異が秋冬作そ菜類の生育に及ぼす影響. 東近農試研報 20：15-40.
25. 川出武夫・木下隆雄・穂積清之・東 駿次（1970b）. 土壌水分の差異とそ菜の生育に関する研究 第2報 土壌水分の差異が夏作果菜類の生育および果実の生産に及ぼす影響. 東近農試研報 20：41-52.
26. 川出武夫・小島昌弘・木下隆雄・穂積清之・東駿次（1970c）. ネット型露地メロンの水田導入に関する研究. 東近農試研報 20：122-150.
27. 木下隆雄・亀野 貞・野口正樹（1988）. ホウレンソウの高品質化のための栽培条件. 農及園 63：51-55.
28. 川里 宏（1969）. 栃木県における水田裏作冬どりカンランの栽培. 農及園 44：1698-1702.
29. 越野郁夫（1960）. 暖地における早期水稲後作の蔬菜栽培の問題点－愛知県を中心として－. 農及園 35：989-994.
30. 松崎朝浩・牛田 均・白井英清（1994）. 遮根シートを利用したトマト栽培における潅水管理が糖度に及ぼす影響. 香川農試研報 45：43-48.
31. 水田昌宏・中川喜雄・田中康隆・小杉伸志・上田和雄（1968）. 水田作そ菜の土壌水分に関する研究（第2報）スイカの生育、収量、養分吸収と土壌水分との関係. 奈良農試研報 2：51-55.
32. 目黒孝司・吉田企世子・山田次良・下野勝昭（1991）. 夏どりホウレンソウの内部品質評価. 土肥誌 62： 435-438.
33. Millette,J.A.（1983）. Effect of water table depths on the growth of carrots and onions on an organic soil in vitro.Can.J.Plant Sci.63：739-746.
34. 永井嘉和・熊谷 健・澤 重孝（1985）. 転換畑における地下水位の変動. 滋賀農試研報 26：42-47.
35. 中島征志郎・石橋祐二・松原徳行・陣野久好（1983）. 転換畑の地下水位が作物の生育および土壌の理化学性に及ぼす影響. 長崎総農林試研報 11：35-73.
36. 農林水産省統計情報部（2000a）. 平成10年産野菜生産出荷統計. p13.
37. 農林水産省統計情報部（2000b）. ポケット農林水産統計－平成12年版－. p200.
38. 小田切弘一（1968）. 水田をそ菜地化するときの注意点. 農及園 43：1425-1428.
39. 小野芳郎・平岡正夫・川中弘二・石橋英二（1990）. 岡山県下における転換畑の地下水位の変動. 岡山農試研報 8：59-64.
40. 太田 充・保科次雄・浅野次郎（1988）. 砂地土壌における地下水位の高低とダイコンの生育・品質. 静岡農試研報 33：37-44.
41. 志佐 誠・万豆剛一（1958）. 水田裏作蔬菜の耐湿性に関する研究（第1報）. 農及園 33：1401-1402.
42. 杉山信男・広岡幹也（1992）. ホウレンソウの葉におけるシュウ酸濃度と還元態窒素濃度との関係. 園学雑 61：569-574.
43. 津高寿和・砂野 正・田中平義（1987）. 兵庫県下における土壌類型別転換畑の地下水位の変動. 兵庫農総セ研報 35：43-48.
44. 時枝茂行・加護谷栄章・澤田富雄・小林尚武・中尾政輝・藤原辰行（1985）. 田畑輪換野菜の根圏改善による生育障害対策（第1報）雨よけ地下水位制御圃場におけるキュウリの生育・収量. 近畿中国農研 69：45-53.
45. 上田和雄（1966）. 水田作スイカの施肥と湿害対策. 農及園 41：1640-1644.
46. 上原洋一（1993）. 根域制限による野菜・果樹の土壌・栄養管理1 根域制限による野菜土壌病害防除. 土肥誌 64：344-349.
47. van Hoorn,J.W.（1958）. Results of a ground water level experimental field with arable crops on clay soil. Neth.J.Agr.Sci.6：1-10.
48. 渡邉幸雄・米山昌美・嶋田典司（1987）. ホウレンソウの糖、ビタミンCおよびシュウ酸含量に及ぼす水ストレス処理の影響. 土肥誌 58：427-432.
49. 渡邉幸雄・志和信一・嶋田典司（1988）. 水耕ホウレンソウのアスコルビン酸、糖、硝酸および

シュウ酸含量に及ぼす間断給液の影響．土肥誌 59：563-567.

50. Williamson,R.E.(1968). Effect of water table depth and method of watering on yield of string beans. Agron.J.60：242-244.
51. Williamson, R.E.and G.J.Kriz (1970). Response of agricultural crops to flooding,depth of water table and soil gaseous composition. Trans. ASEA 13：216-220.
52. 米山忠克・建部雅子(1992)．アスコルビン酸(ビタミンC)・シュウ酸・硝酸の代謝の相互関係．農及園 67：1055-1062.
53. 吉沢孝之（1970a)．これからの水田におけるそ菜の施設栽培技術体系(1)．農及園 45:1376-1380.
54. 吉沢孝之（1970b)．これからの水田におけるそ菜の施設栽培技術体系(2)．農及園 45:1506-1510

Effect of Management of Water Table level on Growth and Quality of Spinach (*Spinacia oleracea* L.)

Yoichi ARAKI*1, Kenji KENMOCHI *2,
Megumi HAMANO*3 and Mitate YAMADA*4

Summary

In this study, we analyzed the effects of constant and fluctuating water table levels on growth, yield and quality of spinach to develop a stable method of cultivation of high quality spinach for the utilization of paddy fields under upland conditions. And we investigated the effect of a root interceptive cloth with a root restriction function to develop a method of preventing excess moisture injury. We used spinach in this study because the cultivation area of this crop is increasing in paddy fields used as upland fields. The results obtained were as follows.

1. Under a constant water table level, the growth of spinach was promoted with the lowering of the water table level. The decrease of the contents of sugars and ascorbic acid was less pronounced while the increase of the contents of nitrate and oxalate was enhanced.

2. Growth of spinach was restricted when the water table level increased from 70 cm to 60 cm during the growing period. However the quality of spinach was not affected.

3. Restriction of spinach growth was associated with the lowering of the water table level by using a root interceptive cloth.

4. When the water table level rose over the root interceptive cloth, spinach growth was more restricted than in the absence of cloth.

5. Root respiration rate per plant increased when the water table level rose. On the other hand, the root respiration rate per root dry weight decreased.

Received 27 October, 2000

*1 Kurume Branch, National Research Institute of Vegetables, Ornamental Crops and Tea
*2 Former staff member of NARC
*3 National Research Institute of Vegetables, Ornamental Crops and Tea
*4 Japan International Research Center for Agricultural Sciences