

## 高地温がウメ樹体に及ぼす影響

岡室美絵子・根来圭一・大江孝明

和歌山県農林水産総合技術センター果樹試験場うめ研究所

### Effect of High Soil Temperature on Japanese Apricot Tree.

Mieko Okamuro, Keiichi Negoro and Takaaki Oe

*Japanese Apricot Laboratory, Fruit Tree Experiment Station  
, Wakayama Research Center of Agriculture, Forestry and Fisheries*

### 緒言

和歌山県は全国一のウメの生産地であり、2009年の生産量は71,500 tで、全国生産量の62%を占めている。県内のウメ園の多くは耕土が浅く傾斜地が多いため、安定生産を図るためには適切な土壌管理が重要である。特に、ウメ栽培園地の拡大に伴い増加した新規造成園の土壌は地下20cmの地温が30℃以上になることが確認されており(和歌山県うめ対策研究会, 2000)、地温が上昇しやすいことが懸念されている。ウメは根群域が浅くほとんどの根が30cmくらいまでの深さに分布している(大坪, 1995; 鈴木, 1965; 渡辺, 1987)ため、このような高地温の影響を受け、樹勢の低下を招くことが懸念される。しかし、高地温がウメの根や樹体に及ぼす影響に関する知見はほとんどない。また、ウメ栽培園地の土壌タイプ別の地温の実態についての報告もない。

そこで本報では、土壌タイプによる夏期の地温の違いを調査し、実際に起こりうる高地温条件下でのウメ樹体への影響を検討した。また、草生栽培による地温上昇抑制効果についても検討を行ったので報告する。

### 材料および方法

#### 【試験1】 土壌タイプ別夏期の地温

うめ研究所内にある硬質フィルム製の温室内に設置した縦370cm, 横370cm, 深さ60cmのコンクリート製ライシメータに充てんされた4種類の土壌, すなわち岩屑土, 褐色森林土, 黄色土および灰色低地土を用いた。これら土壌に2005年6~9月は深さ5cmおよび20cm, 2006年6~9月は深さ10cmに温度データロガー(株式会社ティアンドディ, おんどとり Jr. TR-52)を設置し, 地温を1時間おきに測定した。ライシメータには2005年時点で4年生の‘南高’が各枠に1樹ずつ植栽されており, 温度データロガーは幹から南へ1mの地点に設置した。温室の天窓および側面は常時開放した。

#### 【試験2】 適湿条件における高地温のウメへの影響

60 Lポット栽培の3年生‘南高’を供試し, 前述のライシメータハウス内において2006年8月1日から31日にかけて土壌加温処理を行った。同サイズのポットを2重にし, その間に下部から水が入らないようにビニール袋を2重に覆い, 水をはった桶に漬け, 投げ込み式ヒーターで水を加温することで間接的にポット地下部を加温した(第1図, 第2図)。ポットの土壌表面下10cmの地温を温度データ

ロガー(株式会社ティアンドデイ, おんどとり Jr. TR-52)で測定し, 日中 8 時間設定温度以上となるようタイマーおよびヒーターを調整した. 土壌は褐色森林土を用いた.

試験区は, 40℃区(地温 40℃以上持続時間約 8 時間/日, 処理期間中日最高地温平均 41.9℃, 日最低地温平均 34.7℃), 36℃区(地温 36℃以上持続時間約 8 時間/日, 日最高地温平均 37.4℃, 日最低地温平均 31.3℃)と, 無加温区(日最高地温平均 33.4℃, 日最低地温平均 25.8℃)とし, 各区 3 反復で行った.

加温処理期間中, 1 日 1 ~ 2 回 TDR 携帯型水分計

(Campbell Scientific, HydroSense CS620) で土壌の体積含水率を測定し, 15%以下になると 1 ポットにつき 1 ~ 2L を灌水した.

根の酸素吸収速度は, 直径 0.5 mm 以下の細根を各樹 1 サンプルずつ採取し, 採取後 10 分以内にオキシグラフ(HANSATECH 社, 液相酸素呼吸モニタリングシステム)により 20℃条件で測定した. 同時に根色を目視で観察した. 葉の水ポテンシャルは, 処理期間中 3 ~ 6 日間隔で夜明け前の 5 時に徒長枝中位葉を 1 樹 1 枚ずつサンプリングし, 直ちにプレッシャーチャンバー法(大起理化学工業株式会社, DIK-7002 植物体内水分張力測定器)により測定した. 光合成速度は晴天日の 10 ~ 11 時に携帯型光合成蒸散測定装置(Licor 社, LI-6400)により自然光条件で測定した. また, 処理期間中の落葉程度を観察した.

加温処理終了後は, ポットを屋外に移し, 2007 年 4 月に発芽状態を観察した.

### 【試験 3】 高地温時の土壌水分条件の違いがウメに及ぼす影響

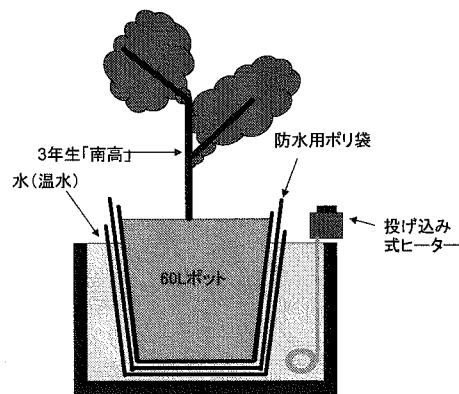
試験 1 と同方法で 2006 年 9 月 11 日から 10 月 12 日にかけて土壌加温処理を行った. 加温区はいずれも土壌表面下 10 cm の地温 36℃以上持続時間約 9 時間/日(日最高地温平均約 37℃, 日最低地温平均約 30℃)とし, 過湿区(土壌体積含水率 24%以下で灌水, 期間中平均含水率 21%), 適湿区(同 18%および 15%), 乾燥区(同 10%および 8%)を設けた. 対照として無加温区(同 18%および 14%, 日最高地温平均 27.4℃, 日最低地温平均 20.2℃)を各区 3 反復で設けた. 以上の処理による樹体反応を試験 1 と同方法で測定, 観察した.

### 【試験 4】 草生栽培による地温上昇抑制効果

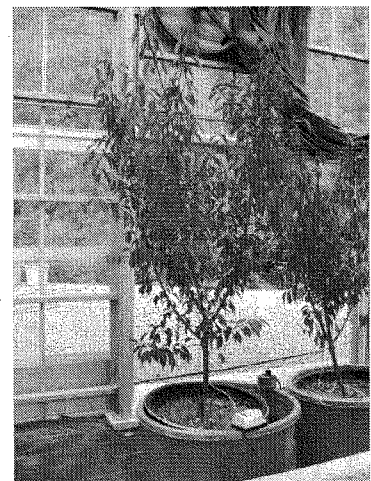
うめ研究所内露地に岩屑土, 褐色森林土, 黄色土および灰色低地土を台形上面で縦 1m, 横 1m の正方形となるよう高さ 50cm に積みあげた山状の土壌を各 2 つずつ(褐色森林土は 1 つ)設置した. この土壌の中央部の深さ 10cm 地点に温度データロガー(株式会社ティアンドデイ, おんどとり Jr. TR-52)を設置し, 2007 年 7 月 ~ 2008 年 8 月の地温を 1 時間ごとに測定した.

2007 年 5 月にうめ研究所内の別のほ場には種し育成したソルゴーを同年 7 月 23 日に刈り取り, 4 種類の土壌 1 山ずつに, 約 3kg ずつ地表面に敷き, 敷草区とした. 褐色森林土を除く 3 種類の土壌の残りの 1 山ずつはソルゴー敷き草なしの裸地区とした.

また, 2007 年 10 月に 4 種類の土壌 1 山ずつに直接ヘアリーベッチをは種して育成し草生区とし, 残りをそれぞれの土壌(褐色森林土を除く)の清耕区とした. ヘアリーベッチは 2008 年 5 月上旬において 1 m<sup>2</sup>あたり乾物重で約 500g に生育し, 6 月下旬に自然枯死し地表面を覆った. 地温は枯死したヘア



第1図 加温方法模式図



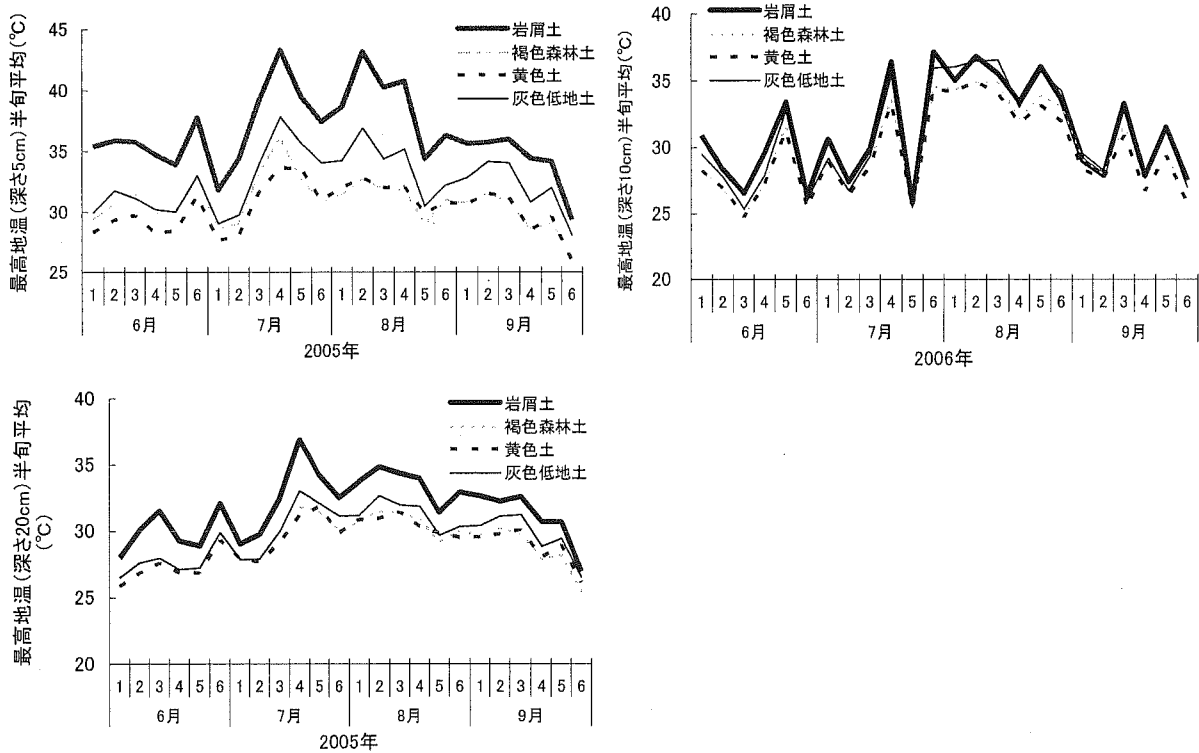
第2図 加温試験の様子

リーベッチの下の土壌で測定した。

結果

【試験1】 土壌タイプ別夏期の地温

6～9月の日最高地温は、深さ5cm, 10cm, 20cmのいずれにおいても岩屑土が最も高く、次いで灰色低地土が高く推移した(第3図)。2005年に測定した深さ5cmの岩屑土の地温は7月中旬および8月中旬に40℃以上となり、期間中最高で45.9℃となった。2006年に測定した深さ10cmの地温は、土壌タイプによる差が小さかった。深さ5cmの地温が6～8月に40℃以上となった時間の累計は、岩屑土で127時間となり、それ以外の土壌は40℃以上にならなかった(第1表)。岩屑土では深さ5cmで40℃以上の地温が最長で7時間持続した。深さ5cmの地温が36℃以上となった時間の累計は、岩屑土が345時間、灰色低地土が73時間、褐色森林土が12時間となり、黄色土は36℃以上にならなかった。36℃以上の最長持続時間は、岩屑土が10時間、灰色低地土が6時間、褐色森林土が2時間であった。深さ10cmでは岩屑土と灰色低地土が、深さ20cmでは岩屑土のみが36℃以上の地温を記録し、36℃以上の最長持続時間は6時間であった。



第3図 土壌タイプ別深さ別夏期の日最高地温半旬平均値の推移  
(上左:深さ5cm, 上右:10cm, 下20cm)  
注) 深さ5cmおよび20cmは2005年, 10cmは2006年測定

第1表 土壌タイプ別夏期の地温特性

	深さ5cmでの地温の 36℃(内40℃)以上時間		深さ10cmでの地温の 36℃以上時間		深さ20cmでの地温の 36℃以上時間		期間最高 地温(℃)		
	最長持続時間(時間)	累計(時間)	最長持続時間(時間)	累計(時間)	最長持続時間(時間)	累計(時間)	5cm	10cm	20cm
岩屑土	10(7)	345(127)	8	78	6	33	45.9	37.8	39.2
褐色森林土	2(0)	12(0)	0	0	0	0	38.0	35.5	32.8
黄色土	0(0)	0(0)	0	0	0	0	35.4	35.4	32.6
灰色低地土	6(0)	73(0)	7	54	0	0	39.0	37.4	33.4

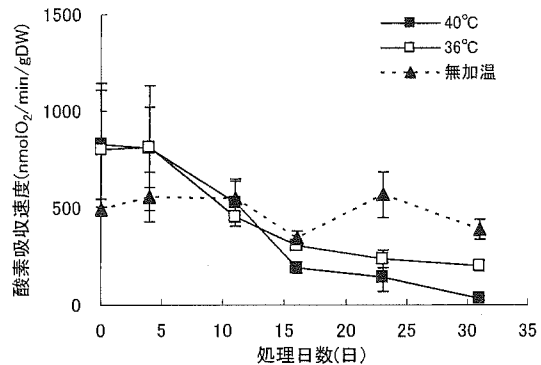
注) 深さ5cmおよび20cmは2005年6～8月, 深さ10cmは2006年6～8月の測定値

【試験2】 適湿条件における高地温のウメへの影響

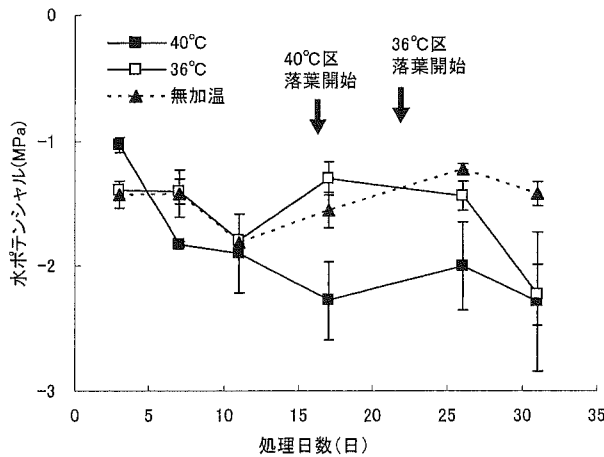
40℃区は1日における40℃以上持続時間が処理期間中平均8.6時間、36℃区は36℃以上持続時間が期間平均19.0時間となった。36℃区は36℃以上持続時間が期間平均7.5時間となった(データ省略)。40℃区は加温処理14日目から落葉が観察され、20日目にはほとんどの葉が落葉した。36℃区は加温処理21日目から落葉が観察された。

細根の酸素吸収速度(呼吸速度)は、40℃区は処理16日目に、36℃区は処理23日目に無加温区に比べて低くなった(第4図)。細根の根色は無加温区は処理期間中を通して赤色であったのに対し、40℃区および36℃区は徐々に赤茶色や茶色に変色した。葉の水ポテンシャルは、40℃区は処理7日目に無加温区より低くなり、その後も低下を続けた(第5図)。36℃区は処理26日目に無加温区より低くなり、31日目には大きく低下した。光合成速度は、40℃区は処理7日目に、36℃区は処理31日目に無加温区に比べて低くなった(第6図)。

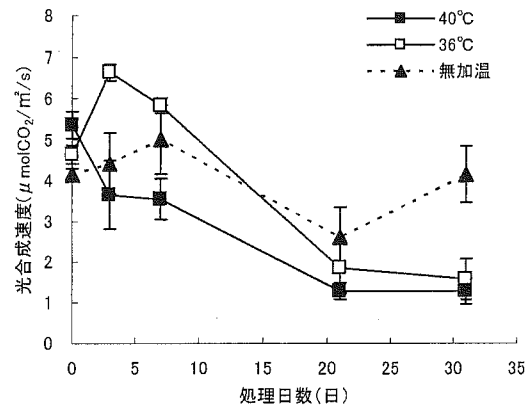
翌年4月の発芽は、40℃区の1樹を除きすべての樹体が発芽した。



第4図 適湿条件における土壤高温処理による細根の酸素吸収速度の変化  
注) 縦棒は標準誤差を示す (n=3)



第5図 適湿条件における土壤高温処理による葉の水ポテンシャルの変化  
注) 縦棒は標準誤差を示す (n=3)



第6図 適湿条件における土壤高温処理による光合成速度の変化  
注) 縦棒は標準誤差を示す (n=3)

【試験3】 高地温時の土壤水分条件の違いがウメに及ぼす影響

加温した区の1日における36℃以上持続時間の平均は、過湿区が8.9時間、適湿区が9.7時間、乾燥区が8.9時間となった(データ省略)。落葉は過湿区は約4日目、適湿区は約7日目、乾燥区は約12日目から観察され、過湿区は処理16日目に全樹の全葉が落葉した(第2表)。適湿区は処理8日目および26日目にそれぞれ1樹の全葉が落葉した。

細根の呼吸速度は、加温した区はすべて処理4日目に無加温区に比べて低くなり、低いまま推移した(第7図)。土壤水分条件による差はみられなかった。細根の根色についても処理区による明確な差はみられなかった。葉の水ポテ

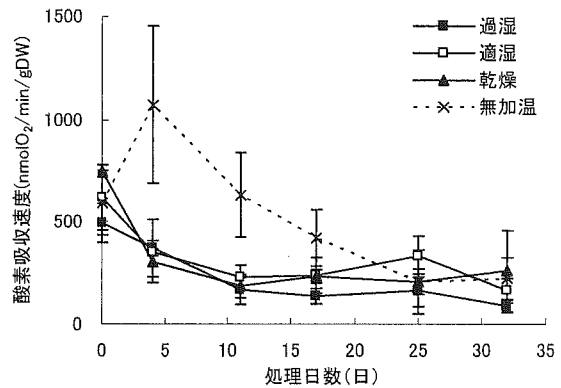
第2表 土壤高温処理における土壤水分条件と落葉状態

	(単位: 日)	
	落葉開始日 <sup>2</sup> (処理日数)	全葉落葉日 (処理日数)
過湿区	3.7	8~16
適湿区	7.3	8~なし
乾燥区	12.0	なし
無加温区	9.3	24~なし

<sup>2</sup>3樹平均

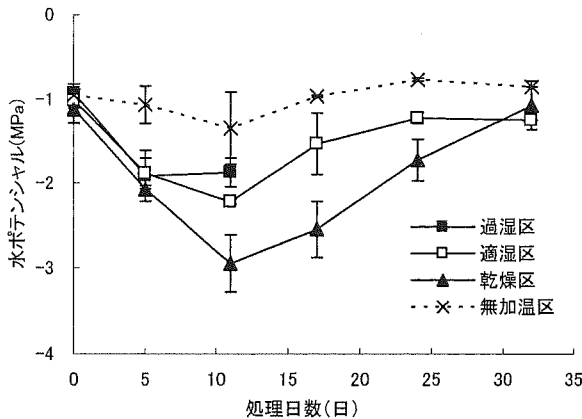
ンシャルは、加温した区はすべて同様に処理 5 日目に無加温区に比べて低くなり、処理 11 日目には乾燥区が最も低く、次いで適湿区、過湿区の順になった（第 8 図）。適湿区および乾燥区の水ポテンシャルは処理 11 日目に最も低くなり、その後再び上昇し処理 32 日目には乾燥区は無加温区と同程度となった。光合成速度は、過湿区は処理 5 日目に急激に低下した（第 9 図）。適湿区は処理 17 日目に無加温区より低くなった。乾燥区は無加温区と差がなかった。

翌年 4 月の発芽状態は、過湿区では 2 樹が全く発芽せず、1 樹が発芽量が少なかった。適湿区では 1 樹の発芽量が少なく、他の 2 樹は正常であった。乾燥区および無加温区は正常に発芽した。



第7図 土壤高温処理における土壤水分条件の違いと細根の酸素吸収速度の変化

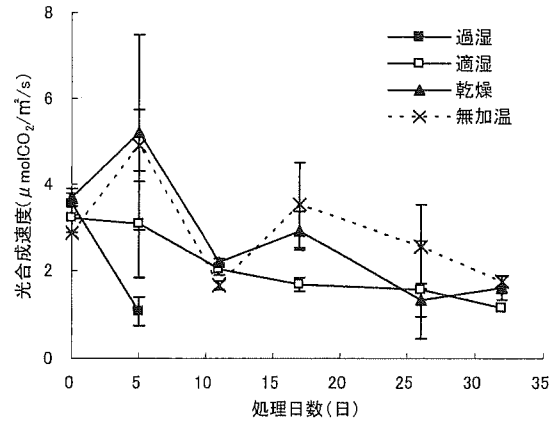
注) 縦棒は標準誤差を示す (n=3)



第8図 土壤高温処理における土壤水分条件の違いと葉の水ポテンシャルの変化

注) 縦棒は標準誤差を示す (n=3)

過湿区は処理16日目に全葉落葉



第9図 土壤高温処理における土壤水分条件の違いと光合成速度の変化

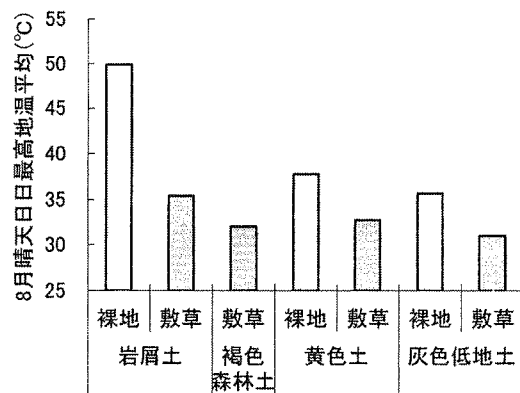
注) 縦棒は標準誤差を示す (n=3)

過湿区は処理16日目に全葉落葉

#### 【試験 4】 草生栽培による地温上昇抑制効果

ソルゴーを敷草すると、いずれの土壤タイプでも 8 月晴天日の日最高地温平均が 36 °C 以下となり、敷草なしの裸地状態に比べて黄色土および灰色低地土は約 5 °C、岩屑土は約 15 °C 低くなった（第 10 図）。

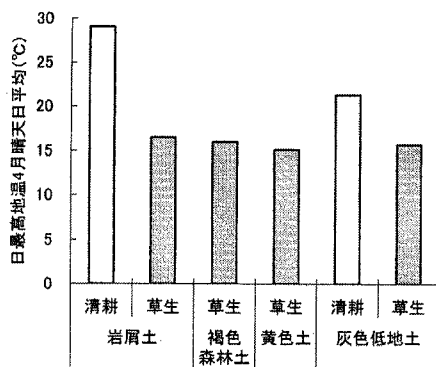
ヘアリーベッチを草生すると、いずれの土壤タイプでも 4 月晴天日の日最高地温平均は 15 °C 前後となり、清耕状態より低くなった（第 11 図）。枯死したヘアリーベッチに覆われた土壤の 8 月晴天日の日最高地温平均は、岩屑土および褐色森林土で約 37 °C、黄色土および灰色低地土で約 34 °C となり（第 12



第10図 ソルゴー敷草の有無と土壤タイプ別の地温

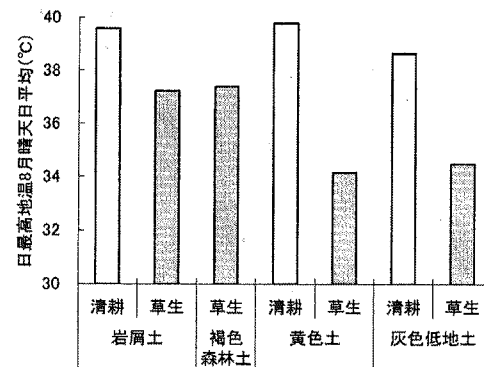
注) 8月晴天日 (日照時間8時間以上) の日最高地温 (深さ10cm) 平均値

図), 清耕状態の地温と比べて2~6℃の範囲で低くなった。



第11図 ヘアリーベッチ草生の有無と4月の  
土壌タイプ別の地温

注) 4月晴天日(日照時間8時間以上)の  
日最高地温(深さ10cm)平均値  
黄色土の清耕区はデータ欠損



第12図 ヘアリーベッチ草生の有無と8月の  
土壌タイプ別の地温

注) 8月晴天日(日照時間8時間以上)の  
日最高地温(深さ10cm)平均値

## 考 察

和歌山県のウメ園地は傾斜地に多いことが特徴であるが、近年栽培面積の増加に伴い傾斜地園に加え新規造成園や水田転換園での栽培が増加している。新規造成園土壌の大部分を占める岩屑土はレキ率が非常に高く、地温が高くなりやすいことが知られている(和歌山県うめ対策研究会, 2000)。

本試験では、新規造成園の岩屑土、傾斜地園に多い褐色森林土、緩傾斜地園に多い黄色土、水田転換園の灰色低地土の4種類の土壌について、夏期の地温上昇特性を調査した。雨よけハウス内での試験において、4種類の土壌の中で最も高温になったのは岩屑土で、深さ5cmでは最高45.9℃まで達し、40℃以上の地温が最長7時間持続した。また、深さ20cmでも36℃以上の地温が6時間持続した日があることから、深部まで高温になりやすく、しかも長時間持続することが確認された。岩屑土以外の土壌タイプでは、灰色低地土、褐色森林土、黄色土の順に高温になりやすく、灰色低地土は深さ5cmでは36℃以上の地温が最長で6時間持続することが明らかとなった。ただし、ハウス内の気温は外気温と比べて3~5℃高く、地温と気温の回帰式から、深さ5cmの地温は4~6℃、深さ20cmの地温は2~3℃低くなる計算となる(データ省略)。そこで、露地において裸地の地温を測定したところハウス内の地温より高い傾向が見られた。これは、裸地の地温は樹体の影に入らない地点で測定したためと考えられる。このように、樹体の影に入らない地点や樹体が小さい場合などでは、根域の地温がハウス内での測定値以上になることもあると考えられる。

このことから、最も高温になりやすい岩屑土では地温が長時間40℃以上になり、深部においても36℃以上の地温が長時間続く可能性があること、灰色低地土やその他の土壌についても地温が36℃以上になり得ることが明らかとなった。そこで、40℃以上、あるいは36℃以上の地温がウメ樹体に及ぼす影響を検討した。

土壌の熱伝導率は水分率が高まるほど高くなる(粕淵, 1972)ことから、地温が樹体に及ぼす影響は土壌水分状態によって異なると考えられるため、まず、土壌水分条件を一定とし、土壌水分15%程度の適湿条件下で8月の31日間土壌を加温処理した。その結果、日中根域全体が40℃以上の地温に8時間さらされると、水ストレス強度を表す葉の水ポテンシャルおよび光合成速度が処理7日目に低下し、

約 15 日で落葉および根の活性低下が認められた。同様に 36 °C以上の地温にさらされた場合も、約 20 日で落葉が起こるとともに根の活性が低下し、26 日以降急激に水ポテンシャルが低下し、光合成速度も 40 °C以上にさらされた場合に比べて遅れて低下するものの、31 日目には同程度まで低下した。

このことから、40 °C以上の高地温の影響は根の活性低下より先に地上部に現れることが確認された。根が水ストレスを受けると地上の葉の気孔が閉じるが、これにはアブシジン酸が関与していると考えられている（高橋，2004）ことや、キュウリでは 38 °Cの高地温で葉と根の ABA（アブシジン酸）含量が高まり、それにより気孔が閉鎖すること（名田ら，2003）が報告されている。また、葉の水ポテンシャルが低下すると気孔が閉鎖することによって蒸散が抑制され、水ポテンシャルの大きな低下が抑制されるとの報告がある（平沢，2004）。ウメにおいても根が 40 °C以上の高地温のストレスを受けて、ABA 量を増加させ気孔を閉鎖させたため光合成・蒸散速度が低下し落葉がおり、その後根の活性も徐々に低下し、水ポテンシャルも低下したと考えられた。

また、36 °Cの地温でも長期間に及べば、ウメ樹体は地上部、地下部ともに強い影響を受けることが明らかとなった。一般に根の呼吸速度は 10 ~ 35 °C程度の温度範囲では温度が高いほど高くなるが、それ以上に上昇すると呼吸速度は低下する（山岸，2004）とされている。また、養液栽培のキュウリでは地温 37 °Cで根の成長や光合成速度が抑制されることが報告されている（王・橋，1996）。ウメにおいても 36 °Cの地温は樹体にとって生育を抑制する温度域であると考えられた。

次に、地温 36 °Cで樹体を受ける影響が土壤水分状態によってどのように異なるかを検討するため、9 ~ 10 月の 32 日間、36 °C以上の地温が日中約 9 時間持続するよう土壌を加温処理し、土壤水分条件を変えて比較した。その結果、根の呼吸速度は土壤水分条件による明確な差が見られなかったが、光合成速度は過湿条件が適湿条件や乾燥条件に比べて早く低下し、土壤水分が多い条件の樹体ほど早期に落葉した。このことから、ウメ樹体は土壤水分が多いほど高地温の影響を受けやすいことが明らかとなった。特に過湿条件では、翌年の発芽に影響を及ぼすほど甚大な影響を受けることが確認され、地温が高くなる時期や時間帯に土壌が過湿にならないように注意が必要であることがわかった。この要因として、土壤水分が多いほど熱が伝わりやすいことが考えられた。また、過湿により土壌中の酸素濃度が低下した影響も考えられるが、通常の地温で過湿条件下で管理したウメ樹体の樹勢低下は緩やかであることから、本試験での樹体反応は過湿による影響より 36 °Cの地温による影響が強いと考えられる。

また、この試験において葉の水ポテンシャルは一旦低下した後、落葉の開始時期から水ポテンシャルが再び上昇することが確認された。このことから、葉の水ポテンシャルが限界まで低下すると、落葉することで水ポテンシャルの低下を抑制し樹体を守る機能が働くと考えられた。しかし、早期の落葉は光合成量を減らし樹体内への貯蔵養分蓄積を減少させるとともに、樹体への日射量が増えることで樹体温度が高まりさらに樹勢を低下させるおそれもあることから、翌年以降の樹勢にも悪影響を及ぼすと考えられる。

以上のことから、ウメ樹は 40 °Cの地温に遭遇すると短期間で地上部および地下部に大きな影響を受けること、36 °Cでも長期間に及ぶと地上部および地下部に大きな影響を受け、特に土壤水分が多い状態では甚大な影響を受けやすいことが明らかとなった。

このように、夏期の高地温がウメ樹体に悪影響を及ぼすことから、地温上昇を抑制する対策が重要となる。その方法の一つとして、草生栽培による効果を確認した。

その結果、ソルゴーを刈り取り敷草にする場合においても、ヘアリーベッチを草生し枯死した状態で地表面を覆う場合においても、裸地状態に比べて夏期の地温を下げる効果があることが明らかとなった。ソルゴー敷草では日最高地温平均値が約 35 °C以下、ヘアリーベッチでは約 37 °C以下に抑えられるため、ウメ樹体への影響は大きく抑えられると考えられる。ただし、ヘアリーベッチにおいては春期にも地温を下げるため、春期の低地温によるウメ樹への影響について確認する必要がある。

### 摘 要

ウメ園土壌の夏期の地温上昇特性および高地温がウメ樹体に及ぼす影響について検討した。

1. 岩屑土では深さ 5cm の地温が 7 時間継続して 40 °C 以上となることがあり、岩屑土の深さ 20cm 地点や灰色低地土の深さ 5cm 地点の地温が 6 時間継続して 36 °C 以上となることがある。
2. 適湿状態で日中 8 時間 40 °C 以上の地温に遭遇すると、ウメ樹体は短時間で光合成速度、水ポテンシャルが低下し、その後根の活性の低下、落葉が見られた。36 °C 以上の地温に遭遇すると、光合成速度、水ポテンシャル、根の活性が約 30 日後に 40 °C に遭遇したウメ樹と同程度まで低下した。
3. 36 °C 以上の高地温がウメ樹体へ及ぼす影響は、土壌水分が多いほど早期にしかも著しく現れた。
4. 刈り取ったソルゴーの敷草やヘアリーベッチ草生は夏期の地温上昇を抑制する効果が認められた。

### 引用文献

- 平沢正. 2004. 根による吸水. P356. 根の事典編集委員会編. 根の事典. 朝倉書店. 東京.
- 粕淵辰昭. 1972. 土壌の熱伝導率におよぼす水分の影響 火山灰土壌, 沖積土壌, 洪積土壌について. 土肥誌. 43 (12) : 437-441.
- 名田和義・賀利雄・橘昌司. 2003. Impaired Photosynthesis in Cucumber (*Cucumis sativus* L.) by High Root-zone Temperature Involves ABA-induced Stomatal Closure and Reduction in Ribulose-1,5-bisphosphate Carboxylase/oxygenase Activity. 園学雑. 72 (6) : 504-510.
- 大坪孝之. 1995. 農業技術体系. 果樹編 6. ウメ. 基礎編. 形態・生理・機能. ウメ樹の生育特性. P26. 農山漁村文化協会. 東京
- 鈴木登・前田和彦・竹中勝太郎. 1965. ウメの木の三要素吸収量と根群の分布. 農及園. 40 (5) : 827-828.
- 高橋秀幸. 2004. 根と植物ホルモン. P146. 根の事典編集委員会編. 根の事典. 朝倉書店. 東京.
- 和歌山県うめ対策研究会. 2000. ウメ生育不良の原因解明と対策技術への提言. P116.
- 王玉海・橘昌司. 1996. キュウリの初期生長と無機栄養に及ぼす高気温と高地温の影響. 園学雑. 64 (4) : 845-852.
- 渡辺毅. 1987. ウメ樹の解体調査による年間養分吸収量の推定. 福井園試報. 6 : 1-13.
- 山岸順子. 2004. 根の呼吸. P327. 根の事典編集委員会編. 根の事典. 朝倉書店. 東京.