

平成21年5月30日現在

| |
|---|
| 研究種目：基盤研究 (C) |
| 研究期間：2007～2008 |
| 課題番号：19580021 |
| 研究課題名 (和文) 果樹の樹形構築解析システム(CACOAS)を用いた減農薬樹形の探索と開発 |
| 研究課題名 (英文) Search and analysis of advantageous fruit tree crowns for reducing pesticide use by combining with the canopy constructing and analyzing system of fruit trees(CACOAS) |
| 研究代表者 |
| 山本 隆儀 (YAMAMOTO TAKANORI) |
| 山形大学・農学部・教授 |
| 研究者番号：40007224 |

研究成果の概要：ACOAS からの出力結果を用いた葉層表面積／葉層体積比および葉滴付着量分布の2種類のシミュレーションモデルを作成するとともに、用いるパラメータ類の検証実験を行った。4樹種それぞれ154個の樹形について20年間にわたりシミュレーションを実施したところ、10a 当たり散布量の20年間平均値の序列とともに10a 当たり散布量や葉滴付着量などに関連する多くの要因が明らかになり、減農薬樹形開発のための基礎的資料が得られた。

交付額

(金額単位：円)

| | 直接経費 | 間接経費 | 合計 |
|--------|-----------|---------|-----------|
| 2007年度 | 700,000 | 210,000 | 910,000 |
| 2008年度 | 600,000 | 180,000 | 780,000 |
| 総計 | 1,300,000 | 390,000 | 1,690,000 |

研究分野：農学

科研費の分科・細目：農学・園芸学、造形学

キーワード：果樹

1. 研究開始当初の背景

環境保全、食品安全性確保などの社会的要請に応え、低投入(省エネ・省資材)型果樹農業を実現するため、現行の農薬散布量の5割減を目指す減農薬果樹栽培が強く求められているが、減農薬樹形の開発はほとんど着手されていない。果樹園用スピードスプレー方式(以下、SS方式)の基礎的研究は外国でなされ、我が国果樹園におけるSS方式防除に役立っているが、最近、漂流(drift)量の減少と効果的散布方法に焦点を絞った研究が展開されている。ただし、これらの研究からは減農薬にとって有効な方策はいまだ見出されていない。果樹樹冠内における葉量(および葉の生体情報)

空間分布の自由度は極めて大きい。加えて減農薬樹冠の開発には、既存樹冠の改変試験の他に、葉量や果実生産性を維持しつつ植え付け当初からの整枝を工夫して減農薬樹冠を実現する必要がある。だが、このための試験は広大な面積、長時間などを要するため大変困難である。

2. 研究の目的

そこで、減農薬樹形の開発・検索に果樹の樹形構築解析システム(CACOAS, 山本ら, 2004)を活用できないかと考え、CACOASにより、数種落葉果樹を対象に、数種の樹形群と骨格枝配置の選択枝などを組み合わせて多数の樹形を構築し、それぞれ、長期に

わたる樹形・樹冠形を構築する一方、CACOASからの出力の一つ、葉密度分布データを用いた葉滴付着量分布シミュレーションモデルを作成し、同モデルによりシミュレーションを行うことで減農薬樹冠を検討した。

3. 研究の方法 (詳細図表は論文①を参照)

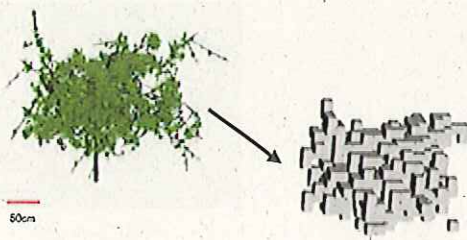
(1) CACOAS を用いた樹形の構築

セイヨウナシ' ラ・フランス', リンゴ' ふじ', オウトウ' 佐藤錦' およびカキ' 平核無' の CACOAS 専用パラメータを用いた。5種の樹形群に、南北樹幅制限値、東西樹幅制限値、骨格枝配置の数種規則などの選択枝を組み合わせて、合計 154 個の樹形について 20 年間の変化を作り出した。ただし、樹高制限値 (3.5m)、割当て土地面積 (=南北樹幅制限値×東西樹幅制限値) 当たり LAI (以下、LAI) の年次別目標値、剪定の数種規則、摘花割合 (4 花そうに 1 花) などは 1 種とした。

(2) 葉層表面積/葉層体積による減農薬樹冠の検討

薬剤散布量は樹冠内部までの葉液付着を可能にする最小散布量として経験的に定められている。動噴方式では、葉液が葉層内部まで入りにくい連続した大きな葉層よりも、葉液が内部まで入り易い小さな葉層が数多く分散する方が薬剤散布量を減らすうえで有利であろう。そこで、このための評価指標として、葉層表面積/葉層体積 (以下、S-V 比) を検討した。CACOAS は樹冠全体を 3 次元仮想グリッドで仕切るとき、葉を含む立方体ブロックの積み木構造を作り出すので (第 1 図)、ブロック積み木の S-V 比計算が可能であると考え、CACOAS にこのための計算機能を追加した。葉を含むブロックがその 6 面のいずれかで他の葉を含むブロックと隣接するとき、連続した積み木構造と見なし、最終的に 1 樹当たりの S-V 比をプログラム計算した。なお、樹列は南北列とした。

(3) 葉滴付着量分布シミュレーションモデルの作成



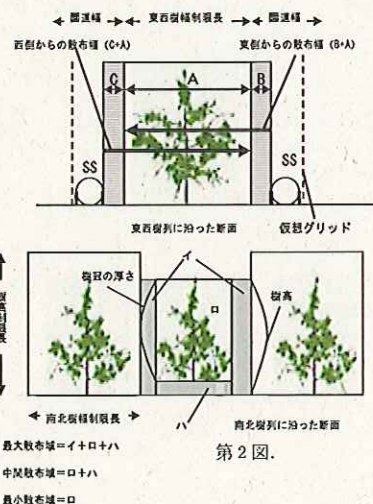
第 1 図. CACOAS からの樹冠形図例 (左) とその葉層ブロックの積み木構造 (右).

① データとパラメータ

154 樹形, 20 年間の年次別割り当て土地面積当り葉量 (LAI) がほぼ等しくなるようにして得られた 3 次元グリッド中 21^3 個の立方体ブロック内葉密度分布データ (CACOAS からの出力) を用いた。主たるパラメータには葉滴飛行距離と水平移動葉滴量に占める落下葉滴量の割合の関係を表すパラメータ (噴霧装置から等間隔に設置した集水容器に留まる水量測定実験で入手), および、葉量に対する葉滴量の減衰係数 (葉の傾斜角度分布から直達光減衰係数と同じ要領で計算) を用いた。葉群による葉滴粒子流の減衰は植物群落内直達光割合の減衰現象に類似すると考え、葉滴粒子が鉛直方向に移動するときには、直射光のときと同様に、葉面傾斜角度分布から求めた直達光減衰係数 (K_0) のうちから、真上からの葉滴流、すなわち、 $h_0=90$ 度のときの K_0 に相当すると考えた。一方、葉滴粒子が水平方向に移動するときにはブロック側面 (鉛直面) を通過する割合を求めることになるので、葉面が鉛直面となす角度としての葉面傾斜角度分布に対する真横からの葉滴流の K_0 値に相当すると考えた。前者に K_h , 後者に K_v の略号を用いた。

② シミュレーションの仮定条件

樹列は南北列とし、一定速度で両側散布タイプのスปีドスプレー (SS) が樹列を変えて U ターンを繰り返すものとした。片側散布幅は樹端を越えないものとし、減農薬の視点から樹列に沿った散布領域を SS 運転操作により 3 段階に設定できるものと



第 2 図.

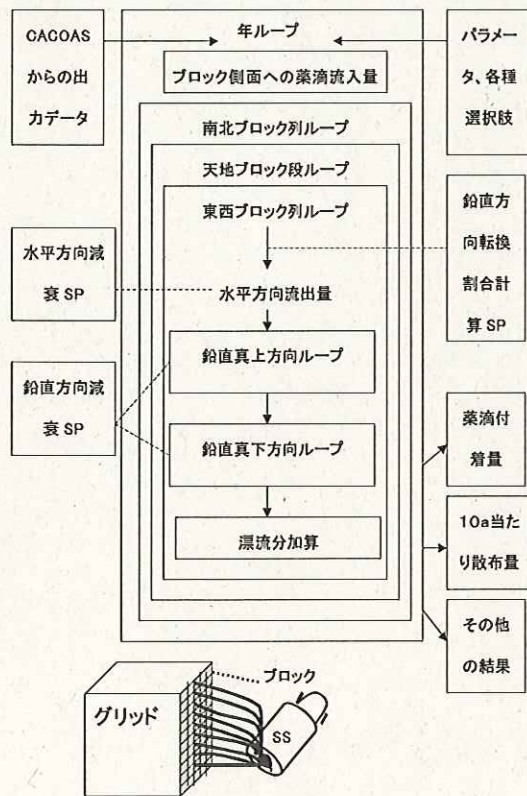
した (第 2 図)。

全樹形を比較する都合上、園道幅を調節することで園地の樹割り当て面積率を可能な限り均等にした。SS からの葉滴ジェット流を狭い空間で捉えれば、水平方向運動エ

エネルギーを喪失した粒子は斜めに落下もしくは浮上する。本シミュレーションで扱う 1 辺が数十 cm の立方体 (以下、ブロック) 空間で捉えるとき、ブロックに進入する葉滴粒子は水平方向直進部分および鉛直方向 (真上と真下) 直進部分に分かれると見なし見なした。10a 当り設定散布量を 350L として、SS 走行速度、各樹形の散布幅を用いてノズル噴霧量を計算した。Kh あるいは Kv を一般に K で表現し、ブロック内の葉面積指数を LAI とし、ブロックに入る葉滴粒子量に対するブロックから出る葉滴粒子量の割合を減衰率とすれば、減衰率 = $\exp(-K \cdot LAI)$ の関係が成立するものと見なした。したがって、そのブロック内の葉群に捕捉される葉滴粒子量の割合は $1 - \exp(-K \cdot LAI)$ に等しい (上記式に Kh あるいは Kv を用いるときは方向別の減衰率と割合を意味する)。

③モデルの概要

グリッド東西面の 1 ブロックに進入する葉滴量、水平および垂直方向に直進する葉滴量の減衰、および各ブロック内の葉による葉滴捕捉量を以下の多重ループのもとで計算した (第 3 図)。



第 3 図 シミュレーションプログラムの流れ図

すなわち、南北樹列を変えて U ターンを繰り返す散布方式を前提に、グリッドの南北ブロック列、天地ブロック段および東西ブロック列の多重ループのもとで、ブロック側面から水平流入する葉滴量、鉛直方向転換量、水平方向の減衰量および鉛直方向の

減衰量をブロック単位およびその周辺ブロック (当該のブロックの水平隣の 1 ブロック、上隣 2 段分のブロックおよび真下方向全ブロック) の分も含め順次計算した。なお、真上に方向転換する割合は常時一定 (鉛直方向分の 15%) にした。最終的な各ブロックの葉滴捕捉量と葉面積から付着量を算出するとともに、捕捉されなかった分は樹冠外漂流量分とした。最終的に、葉滴付着量 (単位: gcm^{-2}) の各年の平均値、最小値、最大値、標準偏差および変動係数、付着むら判定用データ、1 樹散布量、樹冠外漂流量、樹冠外漂流量割合 (1 樹散布量に対する樹冠外漂流量の割合)、および、園地 10a 当り散布量などを出力した。

④パラメータの検証実験

2007 年にシミュレーションを実施し、一応の結果を得たが、本シミュレーションの性格上、検証用のデータは準備できない。そこで、2008 年に動力噴霧器～ノズル方式および SS の両者で、慣行のクレフノン散布を行い、黒色フィルムに付着させ、葉滴画像の面積率を画像計算するとともに、別途実験による付着量～面積率の関係式を求め、慣行の葉滴付着量を推定した。さらに、2 つのパラメータ (Kh と Kv) の検証実験を行った。実際の葉層中に水平方向または鉛直方向の一次元グリッドを組み立て、各ブロックの葉数をカウント後、片方からクレフノン液を噴霧し、途中に置いた黒板上に付着した葉滴面積から減衰量を算出し、各ブロックの LAI データと関連付けることで減衰係数を計算し、前年と比較した。鉛直方向に方向転換する葉滴粒子量割合については、水の代わりにクレフノン液を用い、容器の代わりに黒板 (塩ビシート) を用い、落下付着した葉滴面積 (画像解析法) により上記割合を再計算し、2007 年と比較した。

4. 研究成果 (詳細図表は論文①を参照)

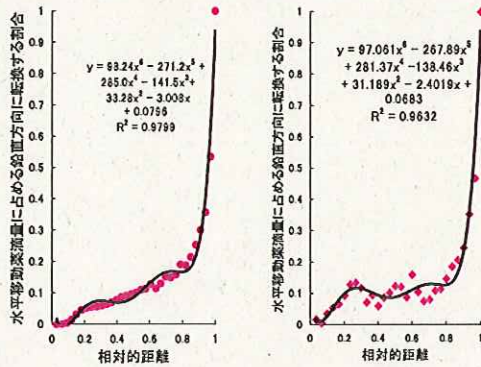
(1) S-V 比による減衰葉樹冠の評価

CAGOAS は南北樹幅の制限値、東西樹幅の制限値、樹高制限値の 3 者のうち最大値を 1 辺とし、各辺 21 分割の立方体グリッドを構成するが、S-V 比はブロックの目の粗さ (1 辺の長さ) に反比例する性格を有するので、S-V 比の出力値をそのまま用いて比較できない。そこで 1 辺 4 m のグリッドを標準にして S-V 比を補正し、これを用いて以後の比較を行った。20 年間の LAI 年次別目標値に対応して、CAGOAS からの各出力値、S-V 比および垂直 S-V 比には年次的推移が見られた。これらの数値の 20 年間平均値を 5 種の樹形群間、154 個の樹形間で比較したところ、LAI、面積当たり着果数はほぼ均等であったが、S-V 比および垂直 S-V 比 (葉滴噴霧方向に垂直な面に限定した S-V 比) には樹形群

間で差異が認められ、細形主幹形>トレリス誘引>Y字形>開心形=変則主幹形の高低関係が現れた。樹形群にとらわれずに S-V 比の 20 年間平均値の高低と CACOAS からの樹冠関連項目の出力値 (20 年間平均値) との間の相関係数を算出したところ、両 S-V 比とも、樹高 (≦3.5m)、平均ブロック葉密度および樹冠下空間体積に対して正、樹冠占有面積、葉層体積、南北樹幅、東西樹幅、樹冠体積、内部無効体積に対して負の、いずれも有意な相関関係が認められた。以上のことから、葉量を変えない条件下でも、樹冠形がスリムな細形主幹形やトレリス誘引の樹形群が減農薬にとって有利であると考えられる。ただし、同一樹形群内でも S-V 比に相当の変動が見られたことから、同一樹形群内でも骨格枝の配置の違いによる独自の影響が現れたものと推察される。なお、S-V 比は動噴方式にとっての薬液の入りやすさの指標にすぎないので、スピードスプレー (SS) 方式における薬滴付着量や 10a 当り農薬使用量を別途評価せねばならない。

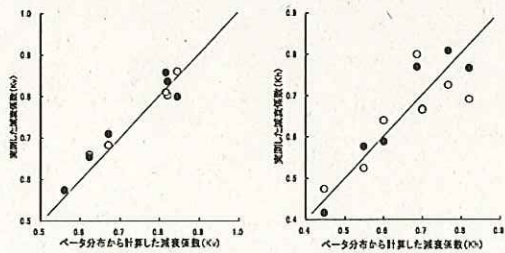
(2) パラメータの検証結果

鉛直方向に方向転換する薬滴粒子量割合の両年の曲線は良く近似した (第 4 図)。ま



第4図 左：2007年の容器による捕捉水量を用いた実験、右：2008年のクレフノン液、黒色板、画像解析を用いた実験

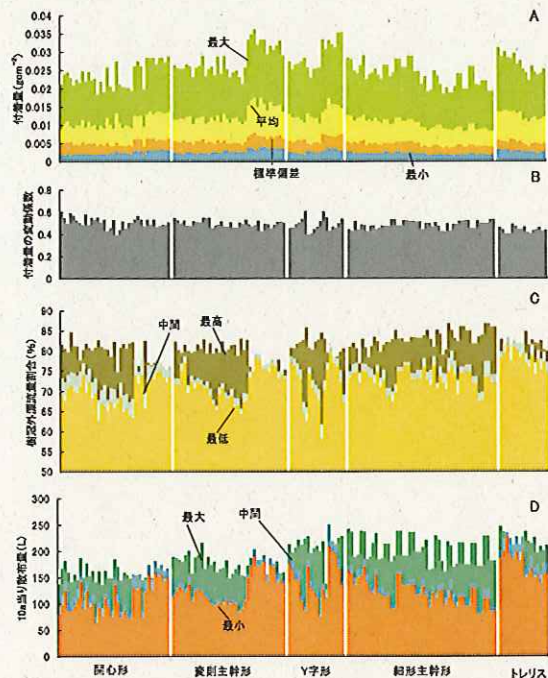
た、経験的に求めた減衰係数と葉の傾斜角度分布から推定した減衰係数にはほぼ良好な類似性が認められた (第 5 図)。前者は限られた葉層における葉の傾斜角度分布を用いた結果であったが、樹冠全体に当てはめるときは 2007 年に行ったシミュレーションのように品種の葉の傾斜角度分布を用いることが妥当であろう。



第5図 葉面傾斜角度分布から算出した減衰係数 (左: Kv、右: Kh) と画像解析結果から求めた減衰係数の比較。異なるシンボルは反復実験を示す。

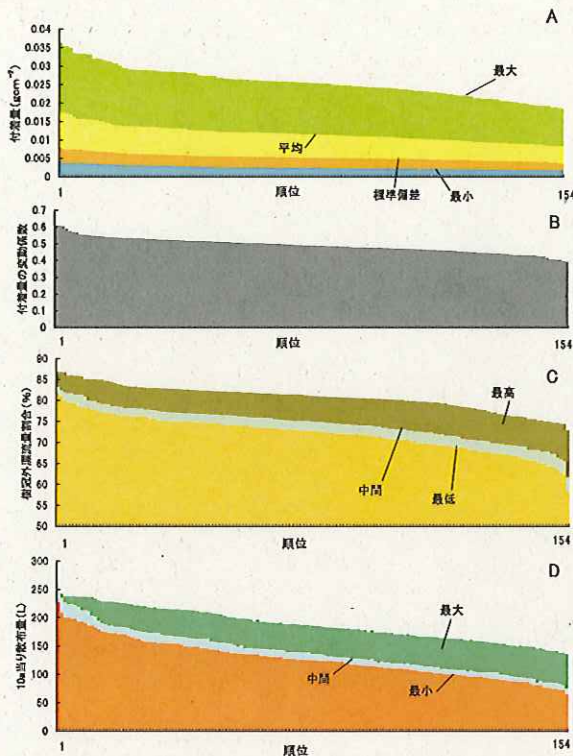
(3) シミュレーション結果

本シミュレーション結果に現れた薬滴付着量の水準は慣行散布の場合とほぼ一致したことから、本シミュレーションの原理的な誤りは避けられたものと判断した。本シミュレーションの結果、樹冠外漂流量割合は非常に高く、少なく見積もっても約 6 割以上であった。樹列に沿った散布領域を実樹高×制限南北樹幅、実樹高×実南北樹幅および実樹高×樹冠厚の 3 段階 (それぞれ、最大、中間、最小) に変えて比較したところ、10a 当たり散布量に大きな違いが現れた (第 6 図)。したがって、減農薬の効果を上げるうえで SS 運転操作は重要であると考えられる。10a 当りの散布量が等しいとき、樹形によって薬滴付着量に相当の違いが現れた。そこで、過剰付着を是正するために、シミュレーション結果を慣行付着量で基準化したところ、10a 当たり散布量の 20 年間平均値には樹形によって大きな違いが現れ、その最大差異は約 4 割であった (第 7 図)。したがって、10a 当りの葉量が等しいとき、樹形ごと散布量を調整することにより大きな減農薬効果が期待できた。



第6図 薬滴付着量 (A)、その変動係数 (B)、樹冠外漂流量割合 (C) および 10a 当り散布量 (D) の 20 年間平均値の樹形群間比較。樹形は樹形番号順に配列。

基準化後の 10a 当たり散布量は樹高、樹冠下空間体積および葉密度との間に正の相関が認められ、反対に、東西樹幅、内部無効容積、葉層体積、樹冠体積および樹冠占有土地面積との間に負の相関が認められた (第 1 表)。基準化前の付着量は外部無効容積、葉層体積、樹冠体積および樹冠占有土地面積に対して正の相関が認められ、反対に、樹冠下空間体積と葉密度との間に負の



第7図 154樹形における、大きさ順に並べた葉滴付着量(A)、その変動係数(B)、樹冠外漂流割合(C)および10a当り散布量(D)。

相関が認められ、樹高との相関は認められなかった(第1表)。なお、他樹種3品種を対象に行ったシミュレーション結果をセイヨウナシ'ラ・フランス'の結果に比べてところほとんど差異が認められなかった。その理由として、設定した154個の樹形の構築方法が全く同じであったためと考えられる。上記の相関関係とともに、154樹形におけるシミュレーション結果の序列は減農

第1表 いずれも5年間平均値としてのCACOASからの樹形構築と同一(行首による基準化後の10a当りの散布量および基準化後の葉滴付着量との間の相関係数(r)*)

| | 基準化後 10a当り 散布量を 基準とする | 基準化後 10a当り 散布量を 基準とする | 基準化後 10a当り 散布量を 基準とする | 基準化後 10a当り 散布量を 基準とする | 基準化後 10a当り 散布量を 基準とする | 基準化後 10a当り 散布量を 基準とする | 基準化後 10a当り 散布量を 基準とする |
|--------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| 樹高 | 0.6183 | 0.5729 | 0.7938 | -0.0552 | -0.0911 | 0.1863 | -0.1582 |
| 葉面積 | -0.5815 | -0.5155 | -0.8227 | 0.2414 | 0.1811 | 0.2976 | 0.4919 |
| 葉面積比 | -0.2389 | -0.1943 | -0.6577 | 0.3178 | 0.5914 | 0.1001 | 0.2575 |
| 外冠葉面積 | -0.3777 | -0.3885 | -0.8274 | 0.4483 | 0.3557 | 0.4111 | 0.4939 |
| 付着量 | -0.3648 | -0.3912 | -0.4550 | 0.1128 | 0.1529 | 0.0259 | 0.1991 |
| 樹冠内葉面積 | 0.4597 | 0.4944 | 0.5503 | -0.3528 | -0.5119 | -0.2591 | -0.3557 |
| 葉面積比 | -0.5678 | -0.5502 | -0.7536 | 0.4760 | 0.5382 | 0.3618 | 0.5247 |
| 樹冠付着量 | -0.5596 | -0.5345 | -0.7446 | 0.4783 | 0.5233 | 0.3618 | 0.5191 |
| 葉面積 | 0.9189 | 0.9328 | 0.6219 | -0.4811 | -0.5175 | -0.2473 | -0.4310 |
| 樹冠内葉面積 | -0.5095 | -0.5200 | -0.7385 | 0.3293 | 0.3574 | 0.2349 | 0.4118 |
| 樹冠外葉面積 | 0.2287 | 0.2426 | 0.0362 | 0.1423 | 0.1373 | 0.1300 | -0.0064 |
| 10a当り散布量 | 0.2678 | 0.2794 | 0.1974 | 0.2092 | 0.2310 | 0.3689 | 0.2558 |
| 葉面積比 | 0.1574 | 0.1662 | 0.6747 | 1.6099 | 0.9299 | 0.9269 | -0.0278 |
| 10a当り散布量 | 0.6912 | 0.6505 | -0.6817 | | 1.6099 | 0.7948 | 0.7617 |
| 10a当り散布量 | 0.1989 | 0.6522 | -0.5912 | | 1.0000 | 0.9266 | -0.0716 |
| 10a当り散布量 | -0.0742 | -0.1239 | -0.6522 | | | 1.0000 | 0.1772 |
| 10a当り散布量 | -0.5208 | -0.4949 | -0.0435 | | | | 1.0000 |
| 葉面積比 | 0.4820 | 0.4557 | 0.0509 | | | | |
| 葉面積比 | 0.4555 | 0.4993 | 0.0005 | | | | |
| 葉面積比 | 0.1487 | 0.1865 | 0.6710 | | | | |
| 基準化後の散布量を 基準とする | 1.0000 | 0.9724 | 0.3537 | | | | |
| 基準化後の散布量を 基準とする | 1.0000 | 0.2350 | 1.0000 | | | | |
| 基準化後の散布量を 基準とする | | 1.0000 | | | | | |

* 両側検定: r > 0.2111のとき p < 0.001, r > 0.2577のとき p < 0.01, および r > 0.1946のとき p < 0.05.

薬樹形開発のための基礎的資料になるものと考えられる。

(4) まとめ

CACOASからの出力である樹形(樹冠形)の詳細な違いや剪定過程などの記録データも減農薬樹形の検索にとって本来重要な情報である。背景に記したように、植え付け当初から骨格枝配置そのものを一新する減農薬樹形(樹冠形)の開発において、実際

の樹を用いた試験には大きな困難を伴うことから、シミュレーション実験に取り組んだところ、一定の成果が得られたものと考えている。本研究成果中、特にS-V比の序列および10a当り散布量の序列と樹形構築選択枝の表を照合することが肝心であり、実際の樹を用いた試験設計に役立つものと考えられる。得られた相関関係は、今回用いた154樹形以外の新しい減農薬樹形の開発に役立つものと思われる。また、本研究の中で得られた幾つかの知見は今後の減農薬研究、たとえば、散布方法の改良、異なる樹種への拡張的応用の基礎になる。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計1件)

① 山本隆儀・須藤佐蔵, 果樹の樹形構築解析システム(CACOAS)を活用した減農薬樹冠の評価法とこれを用いたセイヨウナシ減農薬樹冠の解析, 山形大学紀要(農学), 15, 119-153, (2008), 査読有り

〔学会発表〕(計3件)

① 山本隆儀・須藤佐蔵, 果樹の樹形構築解析システム(CACOAS)の出力結果を用いた葉滴付着量シミュレーションモデルの骨格とパラメータ, 日本生物環境工学会, 2008年9月7日~11日, 愛媛大学城北キャンパス

② 山本隆儀・須藤佐蔵, 果樹の樹形構築解析システム(CACOAS)の出力結果を用いた葉滴付着量分布シミュレーションの作成およびこれを用いたセイヨウナシ減農薬樹冠の解析, 園芸学会, 2008年3月28日~29日, 東京農業大学

③ 山本隆儀・須藤佐蔵, 果樹の樹形構築解析システム(CACOAS)を活用した減農薬樹冠の評価法とこれを用いたセイヨウナシ減農薬樹冠の解析, 園芸学会東北支部, 2007年8月23日~24日, 仙台戦災復興記念館

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕

○出願状況(計0件)

○取得状況(計0件)

〔その他〕無し

6. 研究組織

(1)研究代表者

山本 隆儀 (YAMAMOTO TAKANORI)

山形大学・農学部・教授

研究者番号: 40007224

(2)研究分担者 無し

(3)連携研究者 無し