

**BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO - BỘ NÔNG NGHIỆP VÀ PTNT**

**VIỆN KHOA HỌC THỦY LỢI VIỆT NAM  
VIỆN KHOA HỌC THỦY LỢI MIỀN NAM**

-----\*-----

**TRẦN THÁI HÙNG**

**NGHIÊN CỨU ĐỘNG THÁI ẨM CỦA ĐẤT  
TRONG KỸ THUẬT TƯỚI NHỎ GIỌT ĐỂ XÁC ĐỊNH  
CHẾ ĐỘ TƯỚI HỢP LÝ CHO CÂY NHO LÁY LÁ  
TRÊN VÙNG KHAN HIẾM NƯỚC**

**CHUYÊN NGÀNH: KỸ THUẬT TÀI NGUYÊN NƯỚC**

**MÃ SỐ: 9 58 02 12**

**TÓM TẮT LUẬN ÁN TIẾT SĨ KỸ THUẬT**

**THÀNH PHỐ HỒ CHÍ MINH - 2018**

**Công trình được hoàn thành tại:**

**VIỆN KHOA HỌC THỦY LỢI MIỀN NAM**

**Người hướng dẫn khoa học:**

**1. PGS.TS VÕ KHẮC TRÍ**

**2. GS.TS LÊ SÂM**

**Phản biện 1:**

**Phản biện 2:**

**Phản biện 3:**

**Luận án sẽ được bảo vệ trước Hội đồng chấm luận án cấp:.....**

**Họp tại:**

**VIỆN KHOA HỌC THỦY LỢI MIỀN NAM**

**658 Đại lộ Võ Văn Kiệt, Phường 01, Quận 5, TP. Hồ Chí Minh**

**Vào hồi: .....giờ.....phút, ngày.....tháng.....năm 2018**

**Có thể tìm đọc luận án tại:**

- Thư viện Quốc gia Việt Nam**
- Thư viện Viện Khoa học Thủy lợi Việt Nam**
- Thư viện Viện Khoa học Thủy lợi miền Nam**

## MỞ ĐẦU

### 1. TÍNH CẤP THIẾT CỦA ĐỀ TÀI

Hai tỉnh Ninh Thuận và Bình Thuận là vùng khô hạn nhất cả nước, lượng mưa ít và phân bố không đồng đều giữa các tháng trong năm. Vì vậy, cần sử dụng hợp lý tài nguyên nước để đảm bảo sản xuất. Nghiên cứu chế độ tưới tiết kiệm nước hợp lý cho cây trồng có giá trị kinh tế cao là rất quan trọng và cần thiết. Trước đây, các nghiên cứu thường tập trung vào phương diện chế độ tưới cho cây trồng theo phương pháp tưới và chưa quan tâm nhiều đến động thái ẩm của đất theo không gian bộ rễ hoạt động của cây.

Trên thế giới, cây nho lấy lá được trồng nhiều ở Mỹ, Thổ Nhĩ Kỳ, Hy Lạp, Brazil... Tại Việt Nam, từ năm 1999-2010, CTY TNHH thực phẩm YERGAT và Trung tâm Phát triển KT-XH Bình Thuận (SEDEC) đã nhập khẩu giống nho IAC 572 từ Brazil về trồng để lấy lá chế biến xuất khẩu. Do cây phù hợp với điều kiện tự nhiên tại các tỉnh Ninh Thuận, Bình Thuận, Đồng Nai... nên đã phát triển tốt và cho hiệu quả kinh tế cao. Hiện nay, trên thế giới vẫn chưa có bất cứ nghiên cứu nào về chế độ tưới hợp lý cho cây nho lấy lá, trong đó có vùng nhiệt đới khan hiếm nước (vùng khô hạn) Nam Trung Bộ. Chính vì vậy, ***Nghiên cứu động thái ẩm của đất trong kỹ thuật tưới nhỏ giọt để xác định chế độ tưới hợp lý cho cây nho lấy lá trên vùng khan hiếm nước*** sẽ góp phần làm sáng tỏ những vấn đề cấp thiết hiện nay.

### 2. MỤC TIÊU, ĐỐI TƯỢNG, PHẠM VI, NỘI DUNG VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

#### ***Mục tiêu nghiên cứu:***

(1) Xác định được diễn biến lan truyền nước và động thái ẩm của đất trong kỹ thuật tưới nhỏ giọt;

(2) Xác định được chế độ tưới tiết kiệm nước hợp lý cho cây nho lấy lá canh tác ở vùng khan hiếm nước (vùng khô hạn), bao gồm: chu kỳ tưới, lượng nước và thời gian tưới theo từng giai đoạn sinh trưởng của cây;

***Đối tượng nghiên cứu:*** Nghiên cứu cho 1 loại cây trồng: cây nho lấy lá vùng khan hiếm nước Ninh Thuận và Bình Thuận; Kỹ thuật canh tác theo hàng (theo luống).

Kỹ thuật tưới chính được dùng là tưới nhỏ giọt (tưới phun mưa nhỏ chỉ dùng để cải tạo vi khí hậu);

***Phạm vi nghiên cứu:*** thuộc vùng khan hiếm nước (vùng khô hạn) của Việt Nam, gồm 2 tỉnh Ninh Thuận và Bình Thuận; Điều kiện khí hậu nắng nóng, ít mưa; thổ nhưỡng chủ yếu là đất cát mịn; hạn chế về điều kiện nguồn nước mặt; Bố trí thực nghiệm tưới tiết kiệm nước tại tỉnh Bình Thuận;

### ***Nội dung nghiên cứu***

- Đánh giá tổng quan lĩnh vực nghiên cứu trên thế giới và trong nước;
- Khảo sát thực địa, thiết kế và thiết lập mô hình nghiên cứu thực nghiệm chế độ tưới hợp lý cho cây nho lấy lá;
- Thực nghiệm tưới, quan trắc diễn biến lan truyền nước và động thái ẩm của đất theo không gian và thời gian. Thiết lập tương quan và hồi quy tuyến tính giữa các đại lượng liên quan của quá trình lan truyền nước và động thái ẩm của đất;
- Thực nghiệm về quá trình sinh trưởng, phát triển của cây theo chu kỳ và lượng nước tưới từng mùa vụ. Thiết lập tương quan và xây dựng hệ phương trình hồi quy tuyến tính giữa các nhân tố: khí tượng (nhiệt độ, độ ẩm, nắng, gió, mưa, bốc hơi nước) - lượng nước tưới - năng suất cây trồng;
- Ứng dụng mô hình CoupModel mô phỏng lan truyền ẩm và nhiệt trong hệ thống đất - cây trồng - không khí của kỹ thuật tưới nhỏ giọt;
- Xác định chế độ tưới tiết kiệm nước hợp lý cho cây nho lấy lá.

### ***Cách tiếp cận***

- Tiếp cận toàn diện, hệ thống và thực tiễn, từ tổng thể đến chi tiết; kế thừa, chọn lọc kinh nghiệm tri thức, các nghiên cứu và cơ sở dữ liệu đã có; Tiếp cận theo hệ sinh thái, các hướng phát triển hiệu quả và bền vững, giảm thiểu lãng phí tài nguyên đất-nước; Kế thừa/ứng dụng KHKT hiện đại, các thành tựu về tưới và sản xuất, thu hoạch và bảo quản sản phẩm tiên tiến.

### ***Phương pháp nghiên cứu***

- Phân tích, tổng hợp và hệ thống hóa lý thuyết; Kế thừa chọn lọc và phân tích tổng kết kinh nghiệm nghiên cứu; Điều tra khảo sát hiện trường; Phương pháp thí nghiệm trong phòng và thực nghiệm ngoài đồng; Xử lý dữ liệu bằng phương pháp phân tích thống kê; Phương pháp mô hình toán mô phỏng quá trình lan truyền nước và động thái ẩm trong kỹ thuật tưới nhỏ giọt.

## **3. Ý NGHĨA VÀ NHỮNG ĐÓNG GÓP MỚI CỦA LUẬN ÁN**

### ***Ý nghĩa khoa học:***

- Nghiên cứu đã thiết lập được đường đặc trưng ẩm của đất canh tác (đất cát mịn) vùng khan hiếm nước (vùng khô hạn) là cơ sở khoa học phục vụ xác định chế độ tưới hợp lý cho cây trồng cạn;
- Nghiên cứu đã thiết lập mối tương quan giữa Đất – Nước – Cây trồng – Khí hậu là cơ sở khoa học của các nghiên cứu ứng dụng tưới nước cho cây trồng cạn của vùng khan hiếm nước (vùng khô hạn);
- Nghiên cứu đã xác định những chỉ tiêu cơ bản trong nghiên cứu tưới và hiệu quả tưới nước bằng kỹ thuật tưới nhỏ giọt cho cây nho lấy lá vùng khan hiếm nước (vùng khô hạn) Nam Trung Bộ.

***Ý nghĩa thực tiễn:***

➤ Cây nho lấy lá có giá trị kinh tế cao, tuy nhiên thiếu nước phục vụ tưới đang là 1 vấn đề cản trở đến sự phát triển đại trà. Kết quả nghiên cứu sẽ giúp người dân tưới tiết kiệm và nâng cao hiệu quả dùng nước, phục vụ phát triển cây trồng trên quy mô rộng lớn hơn trở thành cây trồng có thể mạnh;

➤ Kết quả nghiên cứu là một sự lựa chọn hợp lý để chuyển đổi cơ cấu cây trồng theo hướng đa dạng hóa các loại cây trồng có giá trị kinh tế cao (mang tính bền vững) và thích nghi với điều kiện tự nhiên vùng khô hạn;

➤ Ứng dụng kết quả nghiên cứu giúp đơn giản hóa công tác tưới, góp phần xây dựng kế hoạch tưới và phát triển các mô hình khai thác, sử dụng tài nguyên đất – nước phục vụ sản xuất ổn định và bảo vệ môi trường bền vững.

***Những đóng góp mới của nghiên cứu***

➤ Xây dựng đường đặc trưng ẩm của loại đất canh tác nhằm phát triển hiệu quả kỹ thuật tưới nhỏ giọt cho từng loại cây trồng vùng khan hiếm nước;

➤ Mô phỏng được lan truyền nước và động thái ẩm trong tầng đất canh tác (vùng bộ rễ hoạt động) của cây nho lấy lá;

➤ Thiết lập được chế độ tưới tiết kiệm nước hợp lý cho cây nho lấy lá canh tác ở vùng khan hiếm nước (vùng khô hạn) Nam Trung Bộ;

**4. CẤU TRÚC CỦA LUẬN ÁN**

Luận án được trình bày trong 136 trang, bao gồm 36 bảng, 53 hình và các trang thuyết minh. Nội dung chính của luận án gồm 4 chương chính, phần Mở đầu và Kết luận - Kiến nghị, cụ thể như sau:

*Mở đầu*

*Chương 1: Tổng quan lĩnh vực nghiên cứu;*

*Chương 2: Cơ sở lý thuyết và bố trí thực nghiệm;*

*Chương 3: Kết quả thực nghiệm và mô phỏng lan truyền nước, động thái ẩm của đất trong kỹ thuật tưới nhỏ giọt;*

*Chương 4: Kết quả thực nghiệm và xây dựng chế độ tưới hợp lý cho cây nho lấy lá vùng khan hiếm nước;*

*Kết luận và Kiến nghị.*

Phần Phụ lục được trình bày trong 145 trang, gồm 105 bảng biểu và 99 hình minh họa và phần thuyết minh “*Tổng kết kỹ thuật trồng, chăm sóc và thu hoạch cây nho lấy lá*”.

**CHƯƠNG I**

**TỔNG QUAN LĨNH VỰC NGHIÊN CỨU**

**I.1 NGHIÊN CỨU VỀ SỰ VẬN ĐỘNG CỦA NƯỚC TRONG HỆ THỐNG ĐẤT – NƯỚC - CÂY TRỒNG**

Chế độ nước của đất được xem là tổng hợp các hiện tượng nước xâm nhập vào đất, sự chuyển động của nó, giữ nó trong những tầng đất và tiêu

hao nó từ đất. Các nhà khoa học cho rằng quá trình nước thấm vào đất có thể chia thành 2 giai đoạn: (1) Thấm chưa ổn định, và (2) Thấm ổn định. Nghiên cứu lan truyền nước trong đất nhằm xác định phương pháp tưới và lượng nước tưới hợp lý cho từng loại cây để nâng cao hiệu quả dùng nước.

## **I.2 NGHIÊN CỨU ÁP LỰC HÚT ẨM VÀ ĐỘNG THÁI ẨM CỦA ĐẤT ĐỂ ỨNG DỤNG TRONG TƯỚI TIÊU NƯỚC CHO CÂY TRỒNG**

Có 2 cách xác định áp lực hút ẩm của đất: (1) Phương pháp đo trực tiếp bằng các thiết bị đo (Tensiometer, Capilarimeter hay Vacum chamber); (2) Phương pháp gián tiếp là dùng các thiết bị đo các chỉ tiêu nào đó liên quan tới áp lực ẩm bằng các hàm phụ thuộc, sau đó tính toán áp lực hút ẩm.

Xác định nước trong đất bằng nhiều phương pháp: Trọng lượng, Block và nhiệt dung, ống Neutron, đo thời gian chuyển tiếp tín hiệu TDR;

Đường đặc trưng ẩm (pF) của mỗi loại đất được xây dựng để biểu thị mối liên quan giữa áp lực hút ẩm (h) và độ ẩm đất ( $\theta$ ). Có 3 phương pháp để xây dựng đường đặc trưng ẩm là: lý thuyết, thực nghiệm và bán thực nghiệm. Ứng dụng đường đặc trưng ẩm để: dự báo nhu cầu tưới cho cây trồng; thiết lập mối quan hệ giữa độ ẩm-áp lực ẩm đất-mật độ rễ và sự hút nước của cây; đánh giá sự vận chuyển muối và lan truyền các chất hòa tan trong đất; phục vụ công tác tưới cho cây trồng cạn... Nghiên cứu thực nghiệm xây dựng đường đặc trưng ẩm để tính toán trữ lượng nước hữu ích trong đất và lượng nước dễ hữu ích cho cây trồng, phục vụ xác định chế độ tưới tiết kiệm nước hợp lý vùng khan hiếm nước (vùng khô hạn) Nam Trung Bộ hầu như ít được quan tâm thực hiện. Vì vậy, để góp phần nâng cao hiệu quả dùng nước trong sản xuất, cần xây dựng đường đặc trưng ẩm của đất.

Nghiên cứu thực nghiệm thấm để kiểm tra việc tưới thiếu/ thừa nước ít được quan tâm thực hiện, chủ yếu dừng ở việc phân tích các chỉ tiêu cơ - lý - hóa đất mặc dù kết quả nghiên cứu này rất quan trọng, bởi rất dễ xảy ra hiện tượng thừa nước khi kéo dài thời gian mỗi lần tưới (nước sẽ thấm sâu qua vùng bộ rễ hoạt động). Do đó, hầu hết người dân đều thực hiện tưới theo phương pháp truyền thống, thời gian và lượng nước tưới tùy theo chủ quan của người trực tiếp sản xuất gây lãng phí khá nhiều nước.

Hiện nay, kỹ thuật tưới tiết kiệm nước đã được ứng dụng rộng rãi trên thế giới, các nước như Mỹ, Israel, Úc, Tây Ban Nha, Đức... có nhiều kinh nghiệm và thành tựu trong lĩnh vực nghiên cứu, áp dụng kỹ thuật công nghệ và quản lý tưới tiết kiệm nước trong sản xuất nông nghiệp, nó có thể thay thế hầu hết các hệ thống tưới thông thường trước đây và đem lại hiệu quả kinh tế cao. Ở Việt Nam, người nông dân đã từng bước đưa hệ thống tưới này vào thay thế các giải pháp tưới truyền thống, giúp tiết kiệm nước và nâng cao năng suất, chất lượng sản phẩm.

Các nghiên cứu trước đây vẫn chưa quan tâm nhiều đến động thái ẩm của đất theo không gian hoạt động của bộ rễ cây, nên chưa được ứng dụng xác định chế độ tưới cho cây trồng cạn. Động thái ẩm đất ứng với từng kỹ thuật tưới khác nhau đều khác nhau về không gian và thời gian, vì vậy khi ứng dụng kỹ thuật tưới nhỏ giọt vào thực tiễn sản xuất, cần có nghiên cứu cụ thể đối với vấn đề này, trong đó có động thái ẩm theo giờ trong ngày, để thấy được mức hấp thụ nước hiệu quả của cây, tránh xảy ra hiện tượng tưới thừa hoặc tưới thiếu nước khi vùng ẩm tối ưu vượt quá hoặc nhỏ hơn không gian bộ rễ, từ đó xác định mức tưới chính xác hơn cho các mùa vụ sau.

Nghiên cứu chế độ tưới đã được thực hiện với khá nhiều phương pháp khác nhau cho nhiều loại cây trồng cạn. Tuy nhiên, các kết quả công bố xác định mức tưới theo điều kiện khí tượng thực tế hàng ngày để đảm bảo đủ nước cho cây trồng vẫn chưa phổ biến nhiều, điều này hạn chế việc ứng dụng tưới nước cho cây trồng của người nông dân, đặc biệt là vùng khan hiếm nước (vùng khô hạn) Nam Trung Bộ.

Các nghiên cứu về cây nho tại Việt Nam khá nhiều, tuy nhiên nghiên cứu về chế độ tưới rất ít và diễn ra khá lâu, không còn phù hợp với thời điểm hiện tại và tương lai. Cây nho lấy lá là loại cây mới có triển vọng phát triển và mang lại hiệu quả kinh tế tại Việt Nam, chế độ tưới hợp lý cho cây trồng này hiện vẫn chưa được thực hiện, việc tưới nước cho cây chủ yếu theo cảm tính bằng phương pháp tưới truyền thống rất lãng phí nước. Chính vì vậy, các cơ sở khoa học về chế độ tưới, chăm sóc cho cây nho lấy lá cần thiết được nghiên cứu và xác định cụ thể, đặc biệt là trong kỹ thuật tưới nhỏ giọt trên vùng khan hiếm nước (vùng khô hạn) Nam Trung Bộ.

### **I.3 ĐẶC ĐIỂM VÙNG NGHIÊN CỨU**

Ninh Thuận và Bình Thuận có điều kiện khí hậu khô hạn và ít mưa nhất cả nước. Mặc dù hệ thống sông ngòi và hồ chứa của 2 tỉnh khá phong phú nhưng do lượng mưa không đều theo không gian và thời gian nên đều cạn kiệt nghiêm trọng vào mùa khô. Hàng năm diện tích cây trồng bị thiệt hại do hạn hán tăng cao. Tổng diện tích phải dừng sản xuất năm 2016 tỉnh Ninh Thuận khoảng 10.260ha: Vụ Đông Xuân là 5.775ha (lúa 2.645ha, màu 3.130ha); vụ Hè Thu là 4.495ha lúa. Tại tỉnh Bình Thuận, tổng diện tích cây hàng năm bị thiệt hại tính đến ngày 2/3/2016 là: 1.400ha, gồm 150ha lúa (tập trung tại Đức Linh 97ha, Hàm Thuận Bắc 19 ha, Hàm Tân 34ha), 300ha cây thanh long, 200ha cây điều, 700ha mía... tại Hàm Tân.

Diện tích đất hoang hóa của 2 tỉnh khá phong phú, tuy nhiên do điều kiện nguồn nước không đáp ứng đủ nên người dân không thể canh tác thường xuyên, ảnh hưởng lớn đến đời sống xã hội của cả vùng. Vì vậy, việc ứng dụng giải pháp tưới tiết kiệm nước cho cây trồng là rất cần thiết.

## CHƯƠNG II

### CƠ SỞ LÝ THUYẾT VÀ BỐ TRÍ THỰC NGHIỆM

#### II.1 CƠ SỞ LÝ THUYẾT

##### II.1.1 Cơ sở lý thuyết về quá trình vận chuyển nước trong đất

**Định luật Darcy** (cho dòng chảy trong đất bão hòa nước)

Lưu lượng nước chảy qua khối đất bão hòa nước tiết diện A:

$$Q = K * \left( \frac{H_2 - H_1}{\Delta L} \right) * A \quad (2.1)$$

*Trong đó:*  $H_1$  và  $H_2$ : Chiều cao cột nước thí nghiệm (điểm đầu và cuối);

$\Delta L$ : Chiều dài khối nước theo chiều dòng chảy;

A: Diện tích mặt cắt ngang khối nước vuông góc dòng chảy;

Q: Lưu lượng nước chảy qua khối đất bão hòa ( $\text{cm}^3/\text{s}$ );

Tốc độ thấm ổn định qua 1 đơn vị diện tích trong 1 đơn vị thời gian

$$V = \frac{Q}{A} = K * j \quad (2.2)$$

*Trong đó:* K: Hệ số thấm bão hòa ( $\text{cm/s}$ );

J: Gradient thủy lực (hay độ dốc thủy lực) bằng  $\frac{H_2 - H_1}{\Delta L}$  ( $\text{cm/cm}$ );

##### **Dòng chảy trong đất không bão hòa nước**

Theo Richards (1931), dòng chảy trong đất không bão hòa được tính:

$$q_w = -k_w \left( \frac{\partial \psi}{\partial z} - 1 \right) - D_v \frac{\partial C_v}{\partial z} + q_{bypass} \quad (2.3)$$

*Trong đó:*  $k_w$ : Hệ số thấm không bão hòa;

$\psi$ : Sức căng mặt ngoài của nước hay áp lực nước; z: độ sâu thấm;

$C_v$ : Hàm lượng hơi nước trong không khí ở trong đất;

$D_v$ : hệ số khuếch tán hơi nước trong đất;

$q_{bypass}$ : dòng chảy qua khe rỗng lớn (vĩ mô) giữa các khối đất;

$q_{mat}$ : dòng Darcy hay dòng chảy qua các khe rỗng nhỏ của đất;

$q_w$ : là tổng của: dòng chảy qua khe rỗng nhỏ  $q_{mat}$ , dòng hơi nước  $q_v$  và dòng chảy qua khe rỗng lớn  $q_{bypass}$  của tầng đất;

Phương trình tổng quát cho dòng chảy không bão hòa từ định luật bảo toàn khối lượng:

$$q = \frac{(\theta_1 - \theta_2)}{\Delta t} \Delta z \quad (2.7) \quad \text{hay} \quad \frac{q}{\Delta z} = \frac{(\theta_2 - \theta_1)}{\Delta t} \quad (2.8)$$

*Trong đó:*  $\theta$ : Độ ẩm đất;

Phương trình (2.3) và (2.7) là 2 phương trình cơ bản để tính động thái ẩm trong đất.



## II.1.2 Các hàm đặc trưng thủy lực của nước trong đất

### a) Đường đặc trưng ẩm của đất

Theo Brook & Corey (1964), áp lực hút ẩm thực tế,  $\psi$ , như sau:

$$S_e = \left(\frac{\psi}{\psi_a}\right)^{-\lambda} \quad (2.11)$$

*Trong đó:*  $\psi_a$ : Áp lực không khí vào;  $\lambda$ : Chỉ số phân bố kích thước lỗ rỗng; Độ bão hòa nước hữu hiệu,  $S_e$ , được xác định như sau:

$$S_e = \frac{\theta - \theta_r}{\theta_s - \theta_r} \quad (2.12)$$

*Trong đó:*  $\theta$ : độ ẩm thực tế;  $\theta_s$ : độ ẩm bão hòa;  $\theta_r$ : hàm lượng nước còn lại (hay hàm lượng nước mà gradient  $d\theta/dh$  trở thành zero); Theo Van Genuchten (1980), hàm số độ bão hòa nước hữu hiệu,  $S_e$ :

$$S_e = \frac{1}{(1+(\alpha\psi)^{g_n})^{\frac{g_m}{m}}} \quad (2.13)$$

*Trong đó:*  $\alpha$ ,  $g_n$  và  $g_m$ : các hệ số thực nghiệm;

### b) Hệ số thấm không bão hòa

Theo Mualem (1976), hệ số thấm không bão hòa  $k_w^*$  được tính:

$$k_w^* = k_{mat} S_e^{(n+2+\frac{2}{\lambda})} \quad (2.16)$$

Nếu hàm số (2.11) cho đặc trưng ẩm được dùng thì hệ số  $k_w^*$  được tính:

$$k_w^* = k_{mat} \left(\frac{\psi_a}{\psi}\right)^{2+(2+n)\lambda} \quad (2.17)$$

*Trong đó:*  $k_{mat}$ : Hệ số thấm bão hòa phân bố trong hệ lỗ rỗng nhỏ;

$n$ : tham số tính toán sự tương quan giữa lỗ rỗng và dòng chảy rôi;

Theo Van Genuchten (2.13), hệ số thấm không bão hòa như sau:

$$k_w^* = k_{mat} \frac{(1-(\alpha\psi)^{g_n})^{1-\frac{g_m}{2}} (1+(\alpha\psi)^{g_n})^{-g_m}}{(1+(\alpha\psi)^{g_n})^{\frac{g_m}{2}}} \quad (2.18)$$

*Trong đó:*  $\alpha$ ,  $g_n$ , và  $g_m$ : các hệ số thực nghiệm (tương tự (2.13));

Giống như các lựa chọn khác đối với các hàm số của Mualem (2.16) ÷ (2.18), thì hệ số thấm không bão hòa  $k_w^*$  có thể cũng được tính bằng một hàm lũy thừa đơn giản của sự bão hòa tương đối:

$$k_w^* = k_{mat} \left(\frac{\theta}{\theta_s}\right)^{P_{nr}} \quad (2.19)$$

Hoặc bằng một hàm lũy thừa đơn giản của bão hòa hữu ích:

$$k_w^* = k_{mat} S_e^{P_{ne}} \quad (2.20)$$

*Trong đó:*  $P_{nr}$ , và  $P_{ne}$ : các tham số;  $S_e$ : Độ bão hòa hữu hiệu;

$k_{mat}$ : Hệ số thấm bão hòa phân bố trong hệ lỗ rỗng nhỏ;

$\theta_s$ : độ ẩm bão hòa nước;  $\theta$ : độ ẩm thực tế;

Tổng hệ số thấm gần bão hòa được tính toán như sau:

$$k_w^* = 10 \left( \log(k_w^*(\theta_s - \theta_m)) + \frac{\theta - \theta_s + \theta_m}{\theta_m} \log\left(\frac{k_{sat}}{k_w(\theta_s - \theta_m)}\right) \right) \quad (2.21)$$

*Trong đó:*  $k_{sat}$ : Hệ số bão hòa nước toàn phần bao gồm cả khe rỗng của các khối đất;

$k_w^*(\theta_s - \theta_m)$ : hệ số thấm phía dưới  $(\theta_s - \theta_m)$  tại  $\psi_{mat}$  được tính từ công thức (2.16) ÷ (2.18);

**c) Trữ lượng nước hữu ích tích lũy của đất và lượng nước dễ hữu ích cho cây:** Theo FAO, trữ lượng nước hữu ích trong tầng đất (i) có bề dày dz:

$$AW_{(i)} = 1000 * (\theta_{fc} - \theta_{wp}) * dz_{(i)} = 1000 * \theta_{aw(i)} * dz_{(i)} \quad (mm) \quad (2.22)$$

*Trong đó:* AW: Trữ lượng nước hữu ích trong đất có bề dày dz (mm).

$\theta_{aw}$ ,  $\theta_{fc}$ ,  $\theta_{wp}$ : độ ẩm hữu ích, độ ẩm đồng ruộng, độ ẩm cây héo ( $m^3/m^3$  hay  $cm^3/cm^3$ );

$dz_{(i)}$ : Độ dày của tầng đất nghiên cứu thứ (i) (m).

- Tổng trữ lượng nước hữu ích của các tầng đất được tính toán:

$$TAW = \sum_1^n AW_{(i)} = 1000 \sum_1^n \theta_{aw(i)} * dz_{(i)} \quad (mm) \quad (2.23)$$

*Trong đó:* i = 1 → n: số gia của độ sâu tầng đất.

TAW: Tổng trữ lượng nước hữu ích (lũy tích) trong đất ở độ sâu z.

- Lượng nước dễ hữu ích cho cây trồng (RAW):

$$RAW = p * TAW \quad (mm) \quad (2.24)$$

*Trong đó:* RAW: Lượng nước dễ hữu ích cho cây trồng ở độ sâu z.

p: Hệ số bình quân của tổng lượng nước hữu ích trong đất giúp rễ cây có thể hút dễ dàng, giá trị từ 0 ÷ 1.

## II.2 TÍNH TOÁN NHU CẦU NƯỚC CHO CÂY TRỒNG

Tổng lượng bốc hơi nước trong 1 chu kỳ tưới (CK) n:

$$E_{pan(n)} = \sum_{i=1}^n E_{pan(i)} \quad (mm) \quad (2.25)$$

Bốc thoát hơi nước tham chiếu tính toán trong 1 chu kỳ tưới (ET<sub>o</sub>):

$$ET_{o(i)} = K_{pan} * E_{pan(n)} \quad (mm) \quad (2.26)$$

*Trong đó:*  $E_{pan(i)}$ : tổng lượng bốc hơi nước trong 1 ngày (mm);

n: chu kỳ tưới 2, 3 hay 4 ngày;  $K_{pan}$ : Hệ số bốc hơi chậu đựng nước;

Bốc thoát hơi nước mặt ruộng hay nhu cầu nước cho cây trồng:

$$ET_c = K_c * ET_o \quad (mm) \quad (2.27)$$

$$\text{hay } W_{crop} = K_c * ET_o \quad (mm) \quad (2.28)$$

Nhu cầu tưới của cây trồng (mức tưới cơ bản) trong 1 chu kỳ tưới n:

$$Ist_{(n)} = ET_c - P_{(n)} \quad (mm) \quad (2.29)$$

*Trong đó:*  $K_c$ : Hệ số nhu cầu nước của cây;

$P_{(n)}$ : Lượng mưa hữu hiệu trong 1 chu kỳ tưới  $n$  (mm);

$Ist_{(n)}$ : Nhu cầu tưới của cây trồng trong 1 chu kỳ tưới  $n$  (mm);

Sau khi tính được  $Ist$  (mức tưới cơ bản) trong 1 chu kỳ tưới  $n$  (mm), thiết lập thêm 2 mức tưới thực nghiệm khác để so sánh: tăng thêm 25% so với  $Ist$  (đặt tên: mức nhiều nước) và giảm 25% so với  $Ist$  (đặt tên: mức ít nước), các hệ số mức tưới tương ứng:  $m_{(1)}=1,25$  (mức nhiều nước),  $m_{(2)}=1,00$  (mức cơ bản hay mức ban đầu/mức trung bình),  $m_{(3)}=0,75$  (mức ít nước).

Tính mức nước tưới cho từng lô thực nghiệm ( $j$ ) trong CK tính toán:

$$I_{m(j)} = m_{(j)} * Ist_{(n)} / K_{ef} = m_{(j)} * (ET_c - P_{(n)}) / K_{ef} \quad (mm) \quad (2.30)$$

Tổng lượng nước tưới cho từng lô thực nghiệm ( $j$ ):

$$W_{block(j)} = I_{m(j)} * F_{block} = I_{m(j)} * 10^{-3} * (1,1 * bi * L_b) (m^3) \quad (2.31)$$

Trong đó:  $I_{m(j)}$ : Mức nước không chế tưới từng lô thực nghiệm ( $j$ );

$K_{ef}$ : Hệ số hiệu quả sử dụng nước của hệ thống tưới tiết kiệm nước;

$m_{(j)}$ : Hệ số mức nước tưới;

$W_{block(j)}$ : Tổng lượng nước tưới cho từng lô thực nghiệm ( $j$ );

$F_{block}$ : Diện tích hình chiếu tán lá cây trên mặt đất vào lúc 12g00;

$10^{-3}$ : Hệ số quy đổi đơn vị từ mm sang m;

$bi$ : Bề rộng bóng cây thời điểm 12g00 (m);

$L_b$ : Chiều dài bóng cây của lô thực nghiệm thời điểm 12g00 (m).

Thực nghiệm tưới và quan trắc sự sinh trưởng và phát triển cây trồng trong 3 mùa vụ: gồm các giai đoạn sinh trưởng và phát triển, những thay đổi về kích thước thân, lá, rễ, sinh khối cây...

## **II.3. BỐ TRÍ MÔ HÌNH THỰC NGHIỆM**

### **II.3.1. Vị trí, đặc điểm khu vực bố trí thực nghiệm**

Khu vực thực nghiệm nằm phía Nam Quốc lộ 1A (giữa Quốc lộ 1A và biển Đông), tại xã Thuận Quý, huyện Hàm Thuận Nam, tỉnh Bình Thuận.

Tổng diện tích mô hình 20.000m<sup>2</sup> (bố trí ở hình 2.7). Thời gian thực hiện trong 3 mùa vụ cây trồng (mùa khô), từ tháng 01/2012 ÷ 5/2013.

### **II.3.2. Nội dung nghiên cứu thực nghiệm**

Mô tả phẫu diện đất, kiểm tra các đặc tính lý - hóa của đất và nước tưới; Thiết lập mô hình thực nghiệm;

Thực nghiệm xây dựng đường đặc trưng ẩm của đất (pF);

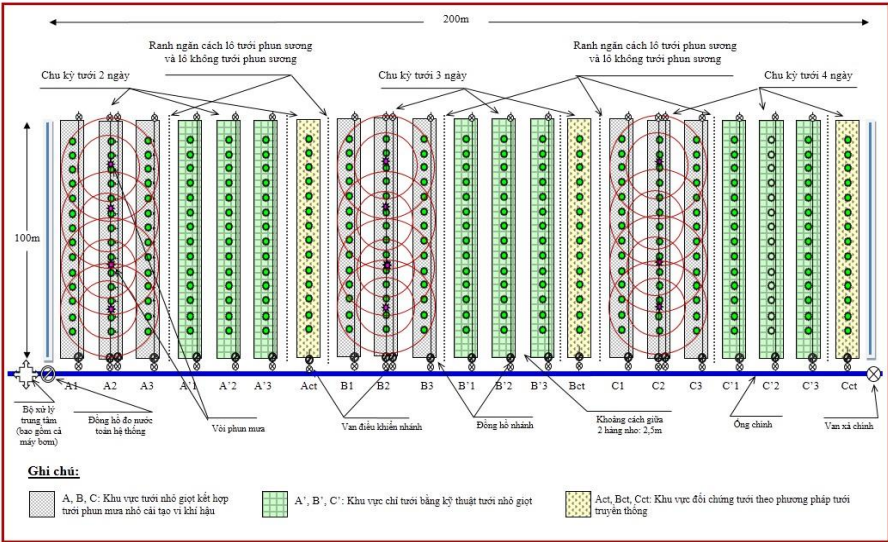
Thực nghiệm xác định hệ số thẩm hiện trường và trong phòng của đất bão hòa nước;

Thực nghiệm thấm và thiết lập tương quan động thái ẩm đất;

Đo đạc các yếu tố khí tượng phục vụ nghiên cứu xác định chế độ tưới;

Thực nghiệm tưới và quan trắc quá trình phát triển của cây trồng;

Phân tích kết quả và xây dựng chế độ tưới hợp lý cho cây trồng;



Hình 2.7: Sơ đồ bố trí thực nghiệm nghiên cứu chế độ tưới tiết kiệm nước cho cây nho lấy lá vùng khan hiếm nước Nam Trung Bộ

### CHƯƠNG III

## KẾT QUẢ THỰC NGHIỆM VÀ MÔ PHỎNG LAN TRUYỀN NƯỚC, ĐỘNG THÁI ẨM CỦA ĐẤT TRONG KỸ THUẬT TƯỚI NHỎ GIỌT

### III.1 THẨM ỔN ĐỊNH HIỆN TRƯỜNG VÀ TRONG PHÒNG CỦA ĐẤT BẢO HÒA

Tầng đất mặt 0÷20cm có hệ số thấm cao nhất 1,176cm/phút, tầng 20÷40cm là 1,152 cm/phút, tầng 40 ÷ 60cm là 1,111 cm/phút. Hệ số thẩm ổn định trong phòng của tầng đất 0 ÷ 20cm rất cao, thẩm đứng có hệ số:  $k_z = 1,848$  cm/phút; thẩm ngang:  $k_r = 1,510$  cm/phút.

### III.2 DIỄN BIẾN LAN TRUYỀN NƯỚC TRONG ĐẤT (THẨM)

#### III.2.1 Diễn biến thẩm ngoài hiện trường (Field)

Kết quả phân tích thống kê diễn biến thẩm cho thấy, độ sâu và bán kính thẩm bề mặt đất của khu vực trồng cây lớn hơn nơi không trồng cây (KoTC):

**CK2:** mặc dù bị thoát hơi nước bề mặt nhưng trong đất vẫn chứa hàm lượng ẩm cao nên nước có xu hướng thẩm ngang nhiều hơn so với thẩm sâu

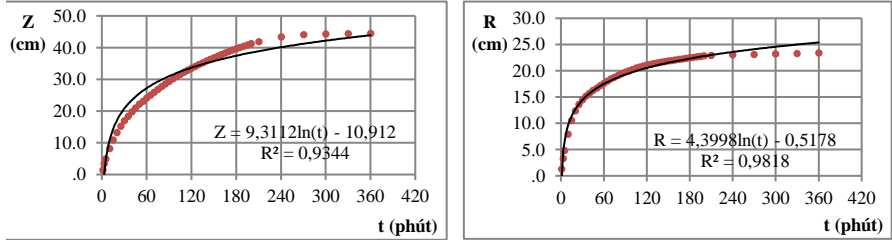
**CK3:** lượng ẩm trong đất giảm hơn so với CK2 nên nước thẩm đều ra cả 3 phương: sang ngang, xiên góc và xuống phía dưới.

**CK4:** có thời gian lặp lại tưới khá dài nên đất khô hơn, lượng ẩm trong đất giảm nhiều hơn so với CK2 và CK3 nên tốc độ thẩm CK4 lớn nhất, nước có xu hướng thẩm sâu xuống phía dưới mạnh hơn sang ngang.

**Khu vực không trồng cây:**  $Z_{ck2max}$ : 43,37cm,  $R_{ck2max}$ : 21,60cm;  $Z_{ck3max}$ : 45,13cm,  $R_{ck3max}$ : 20,1cm;  $Z_{ck4max}$ : 45,61cm,  $R_{ck4max}$ : 18,38cm;

**Khu vực trồng cây:**  $Z_{ck2max}$ : 44,53cm,  $R_{ck2max}$ : 23,4cm;  $Z_{ck3max}$ : 46,03cm,  $R_{ck3max}$ : 21,50cm;  $Z_{ck4max}$ : 47,53cm,  $R_{ck4max}$ : 19,95cm;

Vẽ biểu đồ quan hệ tương quan giữa các đại lượng:  $Z$ ,  $R$ ,  $W$ ,  $t$ ,  $V_Z$ ,  $V_R$ . Hệ số xác định của các tương quan khá cao ( $R^2 > 0,90$ )



Hình 3.5: Biểu đồ quan hệ tương quan giữa các đại lượng của CK2 ngày (Khu vực trồng cây, tuổi TKN)

### III.2.2 Diễn biến lan truyền nước trong phòng (Lab)

Kết quả quan trắc lan truyền nước trong phòng cũng có xu thế tương tự như ngoài hiện trường:  $Z_{ckmax}$ : 47,7cm,  $R_{ck4max}$ : 25,2cm;

Vẽ biểu đồ quan hệ tương quan giữa:  $Z_{lab}$ ,  $R_{lab}$ ,  $W$ ,  $t$ ,  $V_{Zlab}$  và  $V_{Rlab}$ . Kết cho thấy các hàm số được thiết lập có hệ số  $R^2$  khá cao ( $R^2 > 0,90$ );

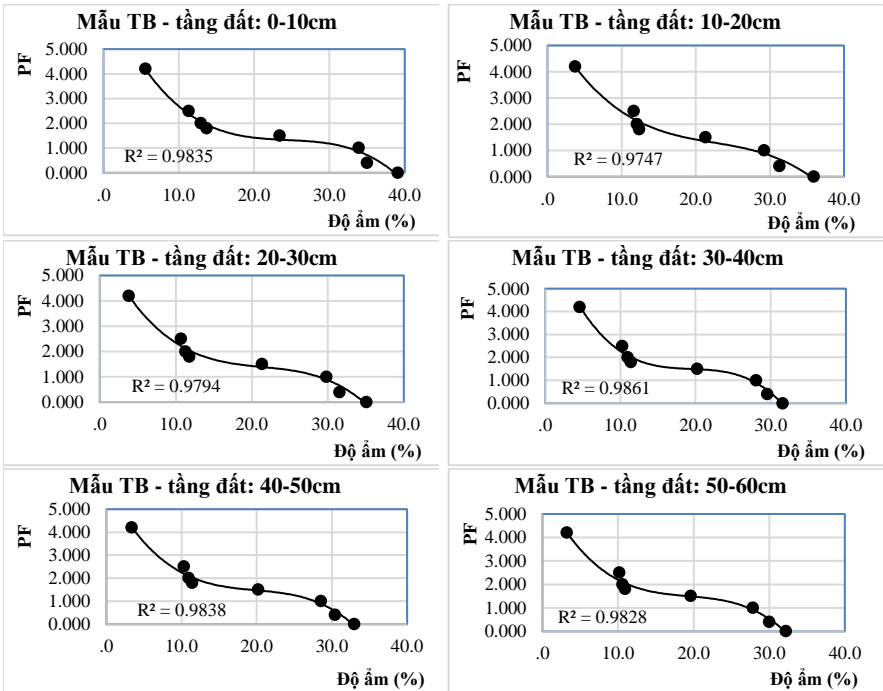
## III.3 ĐẶC TÍNH GIỮA NƯỚC VÀ LƯỢNG NƯỚC HỮU ÍCH CỦA ĐẤT

### III.3.1 Đường đặc trưng ẩm của đất (pF)

Ứng dụng mô hình của Van Genuchten (1980) để thiết lập đường đặc trưng ẩm của đất canh tác (pF) để ứng dụng trong việc xác định động thái ẩm của đất, hệ số tương quan  $R^2$  từ 0,96÷0,99. Đường cong (pF) của 6 tầng đất là điển hình cho loại đất cát mịn với hình dáng của các đường cong khá đồng nhất và có độ dốc thoải.

Bảng 3.4: Kết quả đo (trung bình các mẫu đất) đường cong lực giữ nước trong đất (pF)

STT	Lực	Ám độ thể tích (%) tại							
		h (pF)	0,0	0,4	1,0	1,5	1,8	2,0	2,5
	h (cm)	0,0	2,5	10,0	31,6	63,1	100,0	316,2	15848,9
h (bar)	0,0	0,002	0,010	0,031	0,062	0,098	0,310	15,543	
Độ sâu (cm)	Đo trên hộp cát (Sand Box)							Đo trên pF Box	
1	0÷10	39,10	35,00	33,90	23,40	13,70	12,93	11,30	5,57
2	10÷20	35,93	31,33	29,23	21,33	12,40	12,10	11,67	3,76
3	20÷30	35,10	31,57	29,80	21,33	11,77	11,30	10,70	3,82
4	30÷40	31,60	29,57	28,07	20,23	11,43	11,00	10,27	4,61
5	40÷50	33,00	30,43	28,57	20,20	11,43	10,97	10,30	3,39
6	50÷60	32,23	30,03	27,87	19,63	10,97	10,63	10,20	3,23
7	0÷40	35,43	31,87	30,25	21,58	12,33	11,83	10,98	4,44
8	0÷60	34,49	31,32	29,57	21,02	11,95	11,49	10,74	4,06



Hình 3.10: Biểu đồ đường đặc trưng ẩm theo các tầng đất

Bảng 3.5: Trữ lượng nước tích lũy, trữ lượng nước hữu ích của đất và lượng nước dễ hữu ích cho cây nho lấy lá

Tầng đất	Độ sâu (cm)	$\theta_{fc}$ (cm <sup>3</sup> /cm <sup>3</sup> )	$W_{fc}$ (mm)	$TW_{fc}$ (mm)	$\theta_{wp}$ (cm <sup>3</sup> /cm <sup>3</sup> )	$W_{wp}$ (mm)	$TW_{wp}$ (mm)	$\theta_{aw}$ (cm <sup>3</sup> /cm <sup>3</sup> )	AW (mm)	TAW (mm)	Hệ số P	RAW (mm)	TRAW (mm nước)	$\theta_p$ (cm <sup>3</sup> /cm <sup>3</sup> )	$\theta_p$ (% TT)
1	0÷10	0,1293	12,93	12,93	0,0557	5,57	5,57	0,0736	7,36	7,36	0,35	2,58	2,58	0,1036	80,08
2	10÷20	0,1210	12,10	25,03	0,0376	3,76	9,33	0,0834	8,34	15,70	0,35	2,92	5,50	0,0918	75,87
3	20÷30	0,1130	11,30	36,33	0,0382	3,82	13,15	0,0748	7,48	23,19	0,35	2,62	8,12	0,0868	76,82
4	30÷40	0,1100	11,00	47,33	0,0461	4,61	17,76	0,0639	6,39	29,58	-	-	-	-	-
5	40÷50	0,1097	10,97	58,30	0,0339	3,39	21,14	0,0758	7,58	37,16	-	-	-	-	-
6	50÷60	0,1063	10,63	68,93	0,0323	3,23	24,37	0,0740	7,40	44,56	-	-	-	-	-

Trong đó:  $\theta_{fc}$ ,  $\theta_{wp}$ ,  $\theta_{aw}$ : Độ ẩm đồng ruộng, độ ẩm cây héo và độ ẩm hữu ích của đất;

$W_{fc}$ ,  $TW_{fc}$ : Lượng nước trữ và tổng lượng nước tích lũy của đất tại độ ẩm đồng ruộng;

$W_{wp}$ ,  $TW_{wp}$ : Lượng nước trữ và tổng lượng nước tích lũy của đất tại độ ẩm cây héo;

AW, TAW: Lượng nước hữu ích và tổng (lũy tích) trữ lượng nước hữu ích trong đất;

p: Hệ số bình quân của tổng lượng nước hữu ích trong đất (TAW);

RAW, TRAW: Lượng nước dễ hữu ích và tổng lượng nước dễ hữu ích cho cây trồng;

$\theta_p$ : Độ ẩm tối thiểu thích hợp cho cây trồng (điểm p);

### III.3.2 Khả năng trữ nước hữu ích của đất và lượng nước dễ hữu ích cho cây trồng

Đối với tầng đất chứa bộ rễ hoạt động của cây trồng  $0 \div 20\text{cm}$  (cho những cây trồng có bộ rễ hoạt động nông, gần sát bề mặt đất), độ trữ ẩm đồng ruộng là  $25,03\text{mm}$ , tổng lượng nước hữu ích trong đất là  $15,70\text{mm}$  (chiếm  $62,73\%$  độ trữ ẩm đồng ruộng). Trong cả tầng đất thực nghiệm  $0 \div 60\text{cm}$ , độ trữ ẩm đồng ruộng là  $68,93\text{mm}$ , tổng lượng nước hữu ích của đất là  $44,56\text{mm}$  (chiếm  $64,64\%$  độ trữ ẩm đồng ruộng).

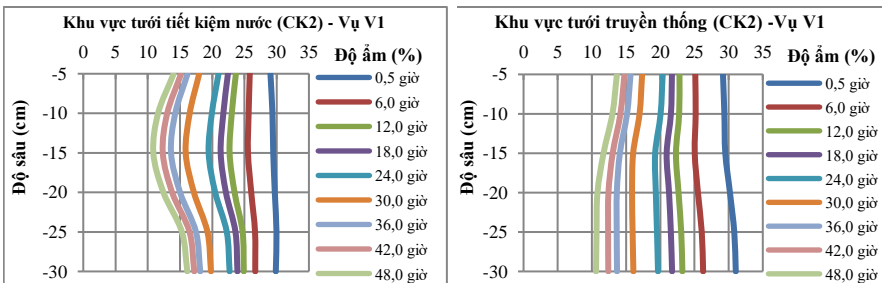
Tổng lượng nước dễ hữu ích của các loại cây trồng cạn phổ biến vùng khan hiếm nước Nam Trung Bộ: **cây nho ăn quả**:  $10,36\text{mm}$  (chiếm  $35,0\%$  tổng lượng trữ nước hữu ích-TLTNHI), độ ẩm tối thiểu thích hợp cho cây Өp:  $8,76\%$ TT; **Thanh long**:  $17,75\text{mm}$  ( $60,0\%$  TLTNHI), Өp:  $7,17\%$ TT; **cây táo**:  $22,28\text{mm}$  ( $50,0\%$  TLTNHI), Өp:  $6,93\%$ TT; **cây mía**:  $19,22\text{mm}$  ( $65,0\%$  TLTNHI), Өp:  $6,85\%$ TT; **cây rau (các loại)**:  $9,27\text{mm}$  ( $40,0\%$  TLTNHI), Өp:  $8,31\%$ TT; **cây hành tỏi**:  $4,71\text{mm}$  ( $30,0\%$  TLTNHI), Өp:  $9,6\%$ TT.

Đối với cây nho lấy lá, tại tầng đất chứa bộ rễ hoạt động của cây trồng  $0 \div 20\text{cm}$ , tổng lượng nước dễ hữu ích:  $5,50\text{mm}$  ( $35,0\%$  TLTNHI), Өp: từ  $9,18 \div 10,36\%$ TT. Khi độ ẩm đất giảm tới điểm độ ẩm tối thiểu thích hợp cho cây Өp, cần tưới nước ngay để cây hấp thụ và phát triển tốt.

## III.4 NGHIÊN CỨU THỰC NGHIỆM ĐỘNG THÁI ẨM ĐẤT

### III.4.1 Động thái ẩm theo chiều sâu tầng đất

Vào cuối chu kỳ, độ ẩm CK2 lớn nhất, kế đến là CK3, thấp nhất là CK4. Khu vực không trồng cây (KoTC): độ ẩm đất các tầng phía trên thấp hơn các tầng phía dưới. Khu vực trồng cây được tưới tiết kiệm nước (TKN): độ ẩm các tầng có chứa bộ rễ hoạt động thấp hơn các tầng còn lại; tầng đáy ít chịu tác động của yếu tố khí tượng và không bị rễ cây hút nước nên độ ẩm cao hơn các tầng phía trên. Khu vực tưới truyền thống (CT): độ ẩm tầng đất phía dưới nhỏ hơn tầng phía trên do bộ rễ hoạt động chủ yếu nằm ở phía dưới đã hút nước mạnh hơn phía trên.

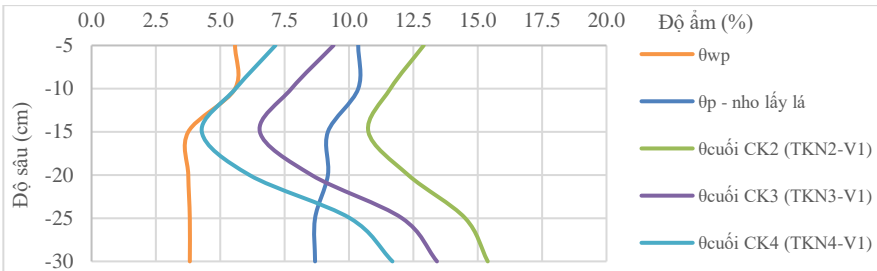


Hình 3.12: động thái ẩm theo thời gian và chiều sâu tầng đất tại 2 khu vực – V1

### III.4.2 Động thái ẩm theo chu kỳ tưới

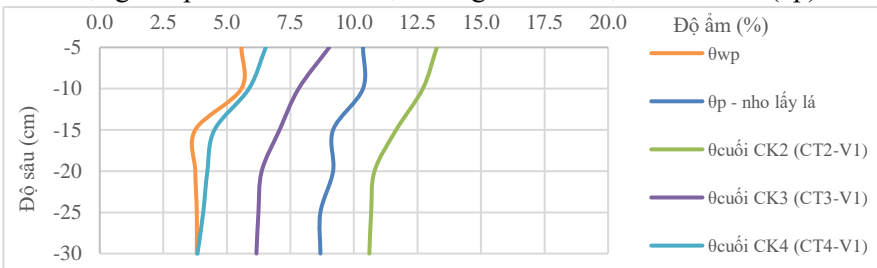
a) **Khu vực KoTC:** So sánh độ ẩm đất cuối của các CK tưới với độ ẩm ( $\theta_p$ ) của các loại cây trồng cạn, kết quả theo mức độ tăng lên gồm: hành tỏi, rau, cà chua, táo, thanh long, mít)... Khi áp dụng tưới TKN, không nên kéo dài CK tưới lớn hơn 4 ngày, riêng các cây chịu hạn tốt (mía, thanh long...) có thể tưới với CK trung bình (3 ngày), bởi cây sẽ bị thiếu nước vào các ngày cuối CK tưới, đặc biệt là các cây có độ nhạy cảm cao với nước như rau, cà chua và hành tỏi. Để tránh giảm năng suất và chất lượng sản phẩm sau thu hoạch thì nên tưới với CK ngắn (2 ngày).

b) **Khu vực trồng cây nho lấy lá được tưới TKN:** hầu hết độ ẩm đất cuối các CK3 và CK4 đều nhỏ hơn độ ẩm ( $\theta_p$ ), trong đó độ ẩm tầng đất 10÷20cm của CK4 đôi khi bằng hoặc xấp xỉ ( $\theta_{wp}$ ) gây khó khăn cho sự hút nước của cây. Riêng CK2 có độ ẩm lớn hơn ( $\theta_p$ ) nên đảm bảo cho cây hút đủ nước để phát triển tốt.



Hình 3.15: So sánh độ ẩm đất cuối các chu kỳ tưới với độ ẩm cây héo  $\theta_{wp}$  và  $\theta_p$  – Khu vực tưới tiết kiệm nước (TKN) - Vụ VI

c) **Khu vực trồng cây nho lấy lá tưới bằng phương pháp truyền thống (CT):** độ ẩm đất cuối CK3 và CK4 đều nhỏ hơn độ ẩm ( $\theta_p$ ), thậm chí CK4 xấp xỉ ( $\theta_{wp}$ ), khi cây có nhu cầu nước tăng cao thì việc hút nước của cây gặp khó khăn, cây thường có biểu hiện bị héo nhẹ, ảnh hưởng đến năng suất và chất lượng sản phẩm toàn mùa vụ. Riêng CK2 có độ ẩm lớn hơn ( $\theta_p$ ).



Hình 3.16: So sánh độ ẩm đất cuối các chu kỳ tưới với độ ẩm cây héo  $\theta_{wp}$  và  $\theta_p$  – Khu vực tưới truyền thống (CT) - Vụ VI



### III.5.3 Động thái ẩm theo giờ trong ngày

#### a) Khu vực không trồng cây (KoTC):

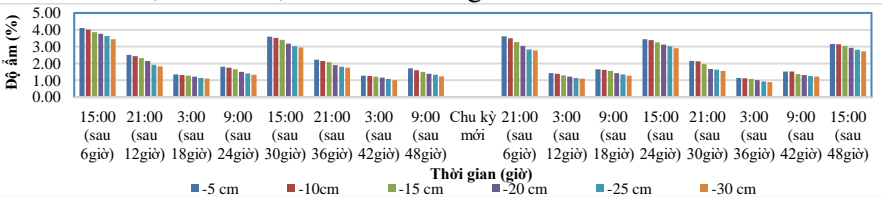
Từ 21g÷3g sáng có mức độ giảm độ ẩm nhỏ nhất, kể đến là 3g÷9g có mức giảm độ ẩm ở vị trí thứ ba trong ngày; từ 9g÷15g, mức giảm độ ẩm đạt lớn nhất; từ 15g÷21g có mức giảm lớn thứ hai và chỉ đứng sau thời đoạn 9g÷15g. Tầng đất 0÷5cm có mức giảm lớn nhất, kể đến lần lượt là các tầng 5÷10cm, 10÷15cm, 15÷20cm, 20÷25cm và tầng 25÷30cm.

#### b) Khu vực trồng cây nho lấy lá được tưới tiết kiệm nước (TKN):

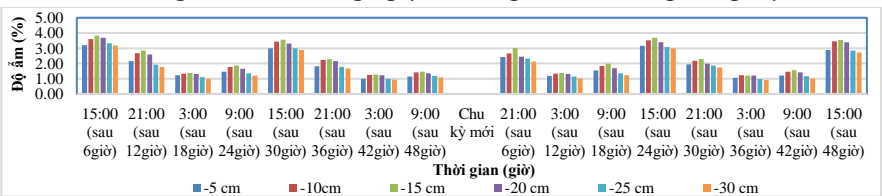
Khi xét đến sự giảm độ ẩm giữa các tầng đất, có sự khác biệt rõ ràng về thứ tự so với khu vực KoTC, nguyên nhân do rễ cây hút nước chuyên lên thân và lá cây phục vụ quang hợp, trao đổi chất giúp cây phát triển và cân bằng nhiệt. Thứ tự mức giảm: tầng đất 10÷15cm giảm nhiều nhất, kể đến lần lượt là các tầng đất 5÷10cm, 15÷20cm, 0÷5cm, 20÷25cm và tầng 25÷30cm.

#### c) Khu vực trồng cây được tưới bằng phương pháp truyền thống (CT):

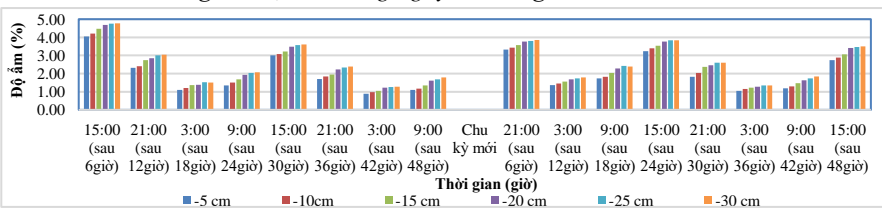
Sự suy giảm độ ẩm tại các thời điểm trong ngày cũng tương tự như khu vực TKN. Khi xét đến sự suy giảm độ ẩm của các tầng đất, khu vực này có sự khác biệt rõ ràng về thứ tự so với khu vực KoTC và khu tưới TKN, đầu tiên là tầng đất 20÷30cm có mức giảm lớn nhất, kể đến lần lượt là các tầng đất 15÷20cm, 10÷15cm, 5÷10cm và tầng 0÷5cm.



Hình 3.18: Mức giảm độ ẩm trong ngày các tầng đất-KV không trồng cây, CK2-VI



Hình 3.19: Mức giảm độ ẩm trong ngày các tầng đất - KV tưới TKN, CK2 - VI



Hình 3.20: Mức giảm độ ẩm trong ngày các tầng đất - KV tưới truyền thống, CK2 -VI

## **III.5 ỨNG DỤNG MÔ HÌNH COUP MODEL MÔ PHÒNG ĐỘNG THÁI ẨM TRONG HỆ THỐNG ĐẤT-CÂY TRỒNG-KHÔNG KHÍ**

### **III.5.1 Tổng quan mô hình Coup Model**

Mô hình Coup ban đầu có tên gọi Soil Model được phát triển để mô phỏng quá trình chuyển động của nước và nhiệt ở bất kỳ loại đất nào có thực vật che phủ theo chiều sâu của phẫu diện đất. Lý thuyết cơ bản gồm: (1) Các định luật về bảo toàn khối lượng và năng lượng; (2) Dòng chảy trong đất (Định luật Darcy) hoặc nhiệt độ (Định luật Fourier).

### **III.6.2 Ứng dụng mô hình Coup Model mô phỏng động thái ẩm trong hệ thống đất - cây trồng - không khí**

*a) Thiết lập dữ liệu ban đầu vào mô hình:* đưa dữ liệu vào các cửa sổ Document, Run Info, Switches, Parameters, Parameter tables, Model files... gồm: Dữ liệu khí tượng, lượng nước tưới, cây trồng, đặc tính cơ lý đất ...;

Thời gian mô phỏng theo từng mùa vụ: Vụ V1 từ 01/01 ÷ 30/4/2012, Vụ V2 từ 01/9 ÷ 30/12/2012, Vụ V3 từ 01/01 ÷ 30/4/2013.

#### *b) Phân tích đánh giá kết quả mô phỏng*

Xây dựng đường đặc trưng ẩm của đất bằng mô hình dựa vào cấu trúc đất cho kết quả khá tương đồng với kết quả đo áp lực ẩm trong phòng.

Động thái ẩm của các tầng đất: độ ẩm đất đầu mùa vụ hạ thấp. Sau khi được tưới, độ ẩm đất tăng lên và được duy trì cao hơn so với thời điểm ban đầu, kết quả này cũng phù hợp với quan trắc thực tế hiện trường. Bốc thoát hơi nước mặt ruộng (của đất và qua lá) cùng với quá trình tưới và phát triển của cây trồng, biên độ từ 0,5÷4mm/ngày. Sự hút nước trong đất của bộ rễ cây: từ 0÷2mm/ngày, phù hợp với diễn biến thoát nước và bốc thoát hơi nước của cây trồng. Diễn biến nhiệt độ các tầng đất thay đổi theo chiều sâu, tầng đất 0÷5cm có biên độ từ 18÷22<sup>0</sup>C, các tầng đất phía dưới có biên độ giảm dần 1,5÷2<sup>0</sup>C và khá đều theo thời gian. Sự phát triển tập trung của bộ rễ theo động thái ẩm đất khá giống với sự phát triển của rễ cây ngoài hiện trường.

## **III.6 KIỂM ĐỊNH DỮ LIỆU THỰC NGHIỆM, PHÂN TÍCH TƯƠNG QUAN VÀ XÂY DỰNG CÁC PHƯƠNG TRÌNH HỒI QUY**

Dữ liệu xử lý bằng phân tích thống kê, kiểm định độ tin cậy Cronbach's Alpha và phân tích nhân tố khám phá EFA. Kiểm định sự khác biệt trung bình có ý nghĩa thống kê One-Way ANOVA, trong đó kiểm định Levene Statistic – đồng nhất phương sai, kiểm định F - sự khác biệt có ý nghĩa thống kê (ANOVA) và kiểm định Welch - vi phạm giả định phương sai không đồng nhất. Kết quả kiểm định đều đảm bảo yêu cầu về thống kê, phục vụ tính toán, phân tích và thiết lập các phương trình hồi quy tuyến tính giữa các nhân tố.

Kết quả kiểm định hệ số tương quan đều đảm bảo sự tương quan giữa các đại lượng rất chặt chẽ. Các hệ phương trình hồi quy như sau:

Bảng 3.15: Hệ phương trình hồi quy tuyến tính về thắm trong đất

Khu vực	Phương trình hồi quy	CK2	CK3	CK4
Tưới TKN	$f(Z) = f(t)$	$Z_2 = 0,957t_2$	$Z_3 = 0,969t_3$	$Z_4 = 0,961t_4$
	$f(Z) = f(W, R)$	$Z_2 = 0,481W_2 + 0,555R_2$	$Z_3 = 0,596W_3 + 0,445R_3$	$Z_4 = 0,582W_4 + 0,467R_4$
	$f(Vz) = f(W, R)$	$Vz_2 = 0,397W_2 - 1,300R_2$	$Vz_3 = 0,357W_3 - 1,253R_3$	$Vz_4 = 0,289W_4 - 1,199R_4$
	$f(R) = f(t)$	$R_2 = 0,858t_2$	$R_3 = 0,838t_3$	$R_4 = 0,813t_4$
	$f(R) = f(W)$	$R_2 = 0,858W_2$	$R_3 = 0,838W_3$	$R_4 = 0,813W_4$
	$f(V_R) = f(W, R)$	$V_{R2} = 0,554W_2 - 1,417R_2$	$V_{R3} = 0,488W_3 - 1,355R_3$	$V_{R4} = 0,432W_4 - 1,296R_4$

Bảng 3.16: Kết quả kiểm định và xây dựng hệ phương trình hồi quy tuyến tính giữa đường đặc trưng ẩm ( $pF$ ) và ( $TAW_{pF2}$  và  $TRAW_{pF}$ )

TT	Quan hệ giữa các yếu tố	$ r $	$R^2$	F	t	VIF	Eigen-value	Phương trình hồi quy
		$> 0,5$	$> 0,5$	$< 0,05$	$< 0,05$	$< 10$	$> 1$	
1	$f(TAW) = f(\theta_{pF2})$	0,946	0,868	0,004	0,004	1,00	1,998	$TAW = 0,946 * \theta_{pF2}$
2	$f(TRAW) = f(\theta_{pF})$	0,946	0,868	0,004	0,004	1,00	1,998	$TRAW = 0,946 * \theta_{pF}$

Bảng 3.17: Phương trình hồi quy tuyến tính giữa ( $\theta_{zi}$ ) và đường cong  $pF$

T	Mùa vụ	Khu vực	Tầng đất Zi (cm)	CK2	CK3	CK4
1	V1 và V3	Tưới TKN	0 ÷ 5	$\theta_{Z5} = 0,952 * \theta_{pF}$	$\theta_{Z5} = 0,946 * \theta_{pF}$	$\theta_{Z5} = 0,942 * \theta_{pF}$
			5 ÷ 10	$\theta_{Z10} = 0,953 * \theta_{pF}$	$\theta_{Z10} = 0,949 * \theta_{pF}$	$\theta_{Z10} = 0,946 * \theta_{pF}$
			10 ÷ 15	$\theta_{Z15} = 0,955 * \theta_{pF}$	$\theta_{Z15} = 0,952 * \theta_{pF}$	$\theta_{Z15} = 0,950 * \theta_{pF}$
			15 ÷ 20	$\theta_{Z20} = 0,955 * \theta_{pF}$	$\theta_{Z20} = 0,951 * \theta_{pF}$	$\theta_{Z20} = 0,948 * \theta_{pF}$
			20 ÷ 25	$\theta_{Z25} = 0,949 * \theta_{pF}$	$\theta_{Z25} = 0,942 * \theta_{pF}$	$\theta_{Z25} = 0,939 * \theta_{pF}$
			25 ÷ 30	$\theta_{Z30} = 0,947 * \theta_{pF}$	$\theta_{Z30} = 0,939 * \theta_{pF}$	$\theta_{Z30} = 0,937 * \theta_{pF}$
2	V2	Tưới TKN	0 ÷ 5	$\theta_{Z5} = 0,948 * \theta_{pF}$	$\theta_{Z5} = 0,948 * \theta_{pF}$	$\theta_{Z5} = 0,941 * \theta_{pF}$
			5 ÷ 10	$\theta_{Z10} = 0,951 * \theta_{pF}$	$\theta_{Z10} = 0,950 * \theta_{pF}$	$\theta_{Z10} = 0,946 * \theta_{pF}$
			10 ÷ 15	$\theta_{Z15} = 0,954 * \theta_{pF}$	$\theta_{Z15} = 0,952 * \theta_{pF}$	$\theta_{Z15} = 0,950 * \theta_{pF}$
			15 ÷ 20	$\theta_{Z20} = 0,954 * \theta_{pF}$	$\theta_{Z20} = 0,953 * \theta_{pF}$	$\theta_{Z20} = 0,947 * \theta_{pF}$
			20 ÷ 25	$\theta_{Z25} = 0,941 * \theta_{pF}$	$\theta_{Z25} = 0,941 * \theta_{pF}$	$\theta_{Z25} = 0,937 * \theta_{pF}$
			25 ÷ 30	$\theta_{Z30} = 0,939 * \theta_{pF}$	$\theta_{Z30} = 0,937 * \theta_{pF}$	$\theta_{Z30} = 0,934 * \theta_{pF}$

## CHƯƠNG IV

### KẾT QUẢ THỰC NGHIỆM VÀ XÂY DỰNG CHẾ ĐỘ TƯỚI HỢP LÝ CHO CÂY NHỒ LẤY LÁ VÙNG KHAN HIẾM NƯỚC

#### IV.1 LƯỢNG NƯỚC TƯỚI CHO CÂY TRỒNG TRONG MÙA VỤ

##### IV.1.1 So sánh lượng nước trong mỗi lần tưới

Bằng phương pháp phân tích thống kê kết quả thực nghiệm thắm, có các mức tưới CK2: 1,05 lít/vòi (hay 5,383m<sup>3</sup>/ha, nước thắm sâu Z = 24,1cm, bộ rễ tập trung ở độ sâu từ 14,6 ÷ 15,4cm), CK3: 1,053 lít/vòi (hay 5,973m<sup>3</sup>/ha, nước thắm sâu Z = 23,8cm, bộ rễ sâu từ 16,8 ÷ 17,7cm) và CK4: 0,8825 lít/vòi (hay 4,523m<sup>3</sup>/ha, nước thắm sâu Z = 23,8cm, từ 19,0 ÷ 20,2cm) để so sánh:

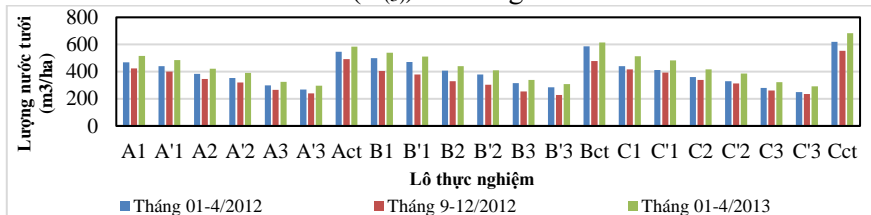
Số lần tưới của lô A3 và A'3 (mức tưới ít nước  $m_{(3)}$  thuộc CK2) có lượng nước nhỏ hơn  $5,383\text{m}^3/\text{ha}$  chiếm tỷ lệ cao nhất, đồng nghĩa với lượng nước thừa là thấp nhất so với tất cả các lô khác, ở thời điểm cuối chu kỳ tưới, đất vẫn duy trì độ ẩm đảm bảo cho cây trồng hấp thụ và phát triển tốt, đạt năng suất cao. Tại các lô khác thuộc CK2 (mức tưới  $m_{(1)}$  và  $m_{(2)}$ ), đặc biệt là CK3 và CK4 (ở cả 3 mức tưới), có một phần nước tưới đã thấm sâu và vượt qua độ sâu bộ rễ hoạt động gây lãng phí, ở cuối các CK3 và CK4, độ ẩm đất vẫn bị suy giảm, không đảm bảo đủ nước để cây trồng hấp thụ và phát triển.

#### IV.1.2 So sánh tổng lượng nước của toàn mùa vụ theo chu kỳ tưới

So sánh các lô tưới TKN với lô đối chứng (3 vụ) như sau: (1) **CK2** (so với Act): Lô A1-A'1 tiết kiệm (TK) từ  $67,603 \div 106,459\text{m}^3/\text{ha}$ ; lô A2-A'2 TK từ  $162,619 \div 192,619\text{m}^3/\text{ha}$ ; lô A3 - A'3 TK từ  $227,764 \div 287,635\text{m}^3/\text{ha}$ . (2) **CK3** (so với Bct): Lô B1-B'1 TK từ  $74,118 \div 116,009\text{m}^3/\text{ha}$ ; lô B2 - B'2 TK từ  $150,086 \div 208,410\text{m}^3/\text{ha}$ ; lô B3 - B'3 TK từ  $226,054 \div 306,581\text{m}^3/\text{ha}$ . (3) **CK4** (so với Cct): Lô C1 - C'1 TK từ  $136,881 \div 207,816\text{m}^3/\text{ha}$ ; lô C2-C'2 TK từ  $215,397 \div 295,747\text{m}^3/\text{ha}$ ; lô C3 - C'3 TK từ  $293,913 \div 391,083\text{m}^3/\text{ha}$ .

#### IV.1.3 So sánh với mức nước tưới cao nhất là Lô Cct

Tất cả các lô thực nghiệm đều có mức nước tưới nhỏ hơn lô Cct, trong đó các lô có mức tưới ít nước ( $m_{(3)}$ ) chỉ bằng từ  $40 \div 50\%$  lô Cct.



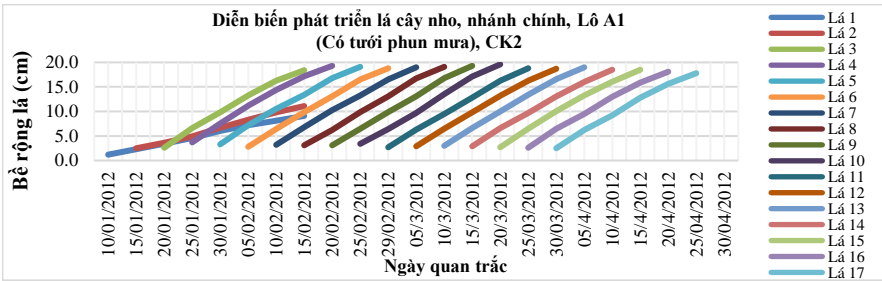
Hình 4.4: Tổng lượng nước tưới cho cây trồng trong 3 mùa vụ

## IV.2 HIỆU QUẢ CỦA KỸ THUẬT TƯỚC TIẾT KIỆM NƯỚC ĐỐI VỚI SỰ PHÁT TRIỂN VÀ NĂNG SUẤT CÂY TRỒNG

### IV.2.1 Phân tích thống kê mô tả về sự phát triển của lá nhỏ

Kết quả phân tích thống kê lá cây thời điểm thu hoạch có độ lệch chuẩn khá nhỏ so với trung bình các mẫu. Lá cây các lô được tưới phun mưa phát triển nhanh và đều hơn các lô đơn thuần chỉ tưới nhỏ giọt. Lá cây thuộc CK2 phát triển nhanh và đều hơn các lô ở CK3 và CK4. Trong CK3 và CK4, sự phát triển của lá cây trong lô có mức tưới nhiều nước ( $m_{(1)}$ ) phát triển nhanh hơn các lô có mức tưới trung bình ( $m_{(2)}$ ) và ít nước ( $m_{(3)}$ ). Cuối mùa vụ, lô C'3 (thuộc CK4) vẫn còn một số lá phải chờ đủ 40 ngày mới đảm bảo đủ kích thước theo yêu cầu. Thứ tự phát triển lá của các lô như sau:

**Lô A1, A2, A3 > Lô A'1, A'2, A'3 và Act > Lô B1, B2, B3 > Lô B'1, B'2, B'3 và Bct > Lô C1, C2, C3 > Lô C'1, C'2, C'3 và Cct.**



Hình 4.5: Diễn biến phát triển lá nho trong mùa vụ VI

#### IV.2.2 Sự phát triển thân và bộ rễ cây

Chu vi thân cây của CK2 ngày lớn hơn các CK3 và CK4, nhưng mức độ chênh lệch không lớn. Bộ rễ của cây tưới tiết kiệm nước có xu thế phát triển mạnh ở tầng đất canh tác (0÷20cm) thường xuyên duy trì độ ẩm.

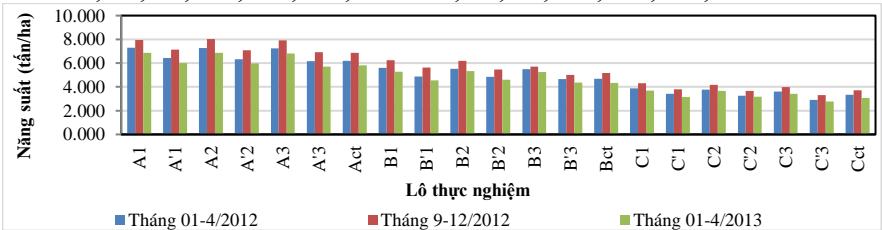
#### IV.2.3 Sinh khối cây và lá nho

Tỷ lệ nước trong thân cây và lá khá lớn, vụ 2 có lượng nước trong thân cây và lá lớn hơn vụ 1 và vụ 3; trong CK2 lớn hơn CK3 và CK4.

#### IV.2.4 Diễn biến thu hoạch sản phẩm và năng suất cây trồng

So sánh trong cùng CK tưới, trọng lượng lá cây các lô có hệ thống tưới phun mưa lớn hơn các lô còn lại. Năng suất các lô thuộc CK2 cao hơn các lô CK3 và CK4 (với cùng mức tưới). CK2 có năng suất thời điểm bắt đầu thu hoạch không chênh lệch nhiều so với những lần thu hoạch tiếp theo, thời gian thu hoạch đại trà sớm hơn CK3 và CK4. Ở CK3 và CK4, năng suất thu hoạch vào thời gian đầu thấp, thường tập trung vào giai đoạn giữa và cuối mùa vụ (do lá cây phát triển chậm hơn CK2).

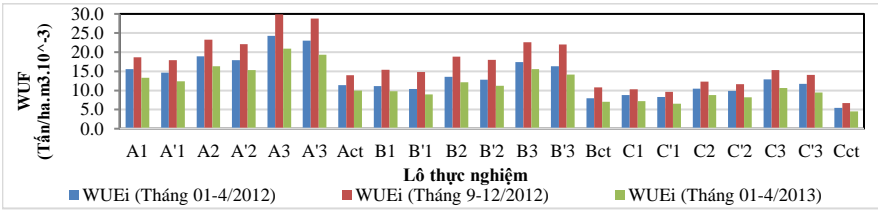
Thứ tự sắp xếp năng suất giữa các lô như sau:  $A1, A2, A3, A'1, A'2, A'3, Act > B1, B2, B3, B'1, B'2, B'3, Bct > C1, C2, C3, C'1, C'2, C'3, Cct$



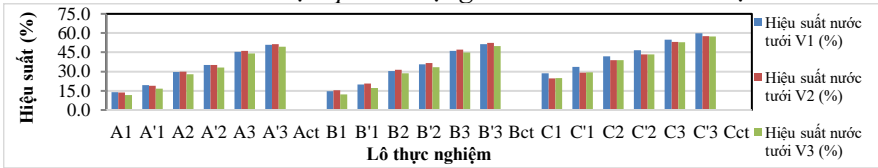
Hình 4.8: Năng suất cây trồng của các lô thực nghiệm - 3 mùa vụ

#### IV.3 HIỆU QUẢ SỬ DỤNG NƯỚC (Water Use Efficiency - WUE)

Các lô được tưới phun mưa có WUE cao hơn các lô tưới nhỏ giọt đơn thuần và tưới truyền thống. Các lô thuộc CK2 có WUE cao hơn CK3 và CK4. Trong cùng CK tưới, các lô có mức tưới ít ( $m_{(3)}$ ) đã đạt WUE cao nhất, tiếp đến là mức tưới trung bình ( $m_{(2)}$ ) và mức tưới cao ( $m_{(1)}$ ).



Hình 4.9: Hiệu quả sử dụng nước tưới toàn mùa vụ



Hình 4.11: Hiệu suất nước tưới toàn vụ của mô hình thực nghiệm

#### IV.4 KIỂM ĐỊNH DỮ LIỆU THỰC NGHIỆM, PHÂN TÍCH TƯƠNG QUAN VÀ THIẾT LẬP HỒI QUY TUYẾN TÍNH

Kiểm định độ tin cậy dữ liệu tưới và sự phát triển của cây trồng (Cronbach's Alpha, phân tích EFA, One-Way ANOVA...) đều đảm bảo yêu cầu thống kê, phục vụ việc đánh giá và phân tích thực nghiệm được cụ thể.

Kết quả phân tích tương quan Pearson ( $r > 0,5$ ), hệ số  $R^2 > 0,5$ , kiểm định F, t có Sig. = 0,0001 < 0,05 (khoảng tin cậy 95%), VIF < 10, Eigenvalue > 1, đều đảm bảo yêu cầu để xây dựng hệ phương trình hồi quy tuyến tính:

(1)  $f(ET_o) = f(t, h, s, w, p)$  - (Hồi quy các yếu tố khí tượng)

Trong đó:  $ET_o$ : Thoát hơi nước bề mặt đất là biến phụ thuộc;  $t$ : nhiệt độ,  $h$ : độ ẩm không khí,  $s$ : nắng,  $w$ : gió,  $p$ : mưa là các biến độc lập.

(2)  $f(I_m) = f(ET_o)$  - (Hồi quy lượng nước tưới - bốc hơi nước)

(3)  $f(Y_m) = f(Y_m)$  - (Hồi quy Năng suất cây trồng - lượng nước tưới)

Bảng 4.8: Các phương trình hồi quy tuyến tính các nhân tố

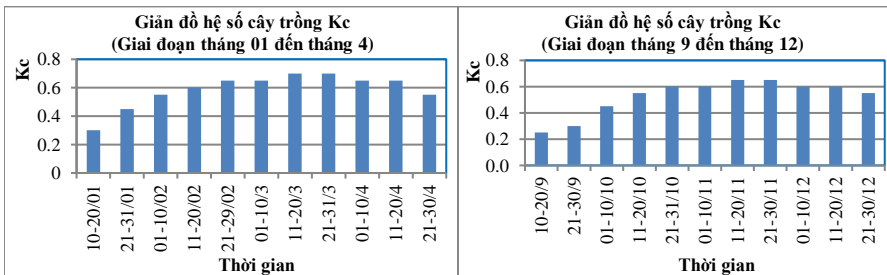
T	CK	Mùa vụ		Vụ V1 (từ 01 tháng 01 ÷ 30 tháng 4)		Vụ V2 (từ 01 tháng 9 ÷ 30 tháng 12)	
		Phương trình hồi quy tuyến tính	$f(ET_o) = f(t, h, s, w, p)$		$f(ET_o) = f(t, h, s, w, p)$		
			$ET_{o(v1)} = 0,112t - 0,415h + 0,308s + 0,587w - 0,049p$		$ET_{o(v2)} = - 0,021t - 0,458h + 0,355s + 0,540w - 0,053p$		
			$f(I_m) = f(ET_o)$	$f(Y_m) = f(I_m)$	$f(I_m) = f(ET_o)$	$f(Y_m) = f(I_m)$	
1	2	m1 = 1,25	$I_{1,25} = 0,875*ET_{0,125}$	$Y_{1,25} = 0,994* I_{1,25}$	$I_{1,25} = 0,952*ET_{0,125}$	$Y_{1,25} = 0,997* I_{1,25}$	
		m2 = 1,00	$I_{1,00} = 0,877*ET_{0,100}$	$Y_{1,00} = 0,994* I_{1,00}$	$I_{1,00} = 0,951*ET_{0,100}$	$Y_{1,00} = 0,997* I_{1,00}$	
		m3 = 0,75	$I_{0,75} = 0,879*ET_{0,075}$	$Y_{0,75} = 0,994* I_{0,75}$	$I_{0,75} = 0,951*ET_{0,075}$	$Y_{0,75} = 0,997* I_{0,75}$	
2	3	m1 = 1,25	$I_{1,25} = 0,855*ET_{0,125}$	$Y_{1,25} = 0,993* I_{1,25}$	$I_{1,25} = 0,943*ET_{0,125}$	$Y_{1,25} = 0,995* I_{1,25}$	
		m2 = 1,00	$I_{1,00} = 0,855*ET_{0,100}$	$Y_{1,00} = 0,993* I_{1,00}$	$I_{1,00} = 0,945*ET_{0,100}$	$Y_{1,00} = 0,996* I_{1,00}$	
		m3 = 0,75	$I_{0,75} = 0,854*ET_{0,075}$	$Y_{0,75} = 0,993* I_{0,75}$	$I_{0,75} = 0,945*ET_{0,075}$	$Y_{0,75} = 0,996* I_{0,75}$	
3	4	m1 = 1,25	$I_{1,25} = 0,858*ET_{0,125}$	$Y_{1,25} = 0,981* I_{1,25}$	$I_{1,25} = 0,921*ET_{0,125}$	$Y_{1,25} = 0,997* I_{1,25}$	
		m2 = 1,00	$I_{1,00} = 0,863*ET_{0,100}$	$Y_{1,00} = 0,980* I_{1,00}$	$I_{1,00} = 0,919*ET_{0,100}$	$Y_{1,00} = 0,997* I_{1,00}$	
		m3 = 0,75	$I_{0,75} = 0,862*ET_{0,075}$	$Y_{0,75} = 0,979* I_{0,75}$	$I_{0,75} = 0,920*ET_{0,075}$	$Y_{0,75} = 0,998* I_{0,75}$	

### IV.5 CHẾ ĐỘ TƯỚI CHO CÂY TRONG KỸ THUẬT TƯỚI NHỎ GIỌT

- (1) Tổng thời gian một vụ tạo tán và thu hoạch lá của cây trồng khoảng 4 tháng;
- (2) Chu kỳ tưới là 2 ngày; Mức nước tưới nhỏ giọt cho cây trồng là mức ít nước ( $m = 0,75$ );
- (3) Lượng nước tưới nhỏ giọt ( $I_m$ ) được tính toán từ kết quả bốc thoát hơi ( $ET_o$ ) và lượng mưa hiệu quả ( $P$ ) hàng ngày và hệ số nhu cầu nước tưới ( $K_c$ ) theo từng giai đoạn sinh trưởng và phát triển của cây, hoặc
- (4) Lượng nước tưới nhỏ giọt ( $I_m$ ) được tính với mức 0,725 (lít/cây.lần tưới) tương đương 3,745 ( $m^3/ha.lần tưới$ ) để duy trì độ ẩm trong tầng đất chứa bộ rễ hoạt động, tránh thấm sâu gây lãng phí nước.

Bảng 4.9: Hệ số nhu cầu nước  $K_c$  của cây nho lấy lá

Giai đoạn sinh trưởng	Cây mầm phát triển	Cây phát triển			Cắt đỉnh giàn lần 1	Cây phát triển hướng xuống		Cắt đỉnh giàn lần 2	Cây phát triển hướng xuống		
		hướng lên đỉnh giàn	hướng xuống								
Thời gian	10-20/01	21-31/01	01-10/02	11-20/02	21-29/02	01-10/3	11-20/3	21-31/3	01-10/4	11-20/4	21-30/4
$K_c$	0,30	0,45	0,55	0,60	0,65	0,65	0,70	0,70	0,65	0,65	0,55
Mức nước tưới (mm)	8.929	12.137	14.712	14.712	13.241	14.712	14.712	16.183	14.712	14.712	12.505
Mức nước tưới ( $m^3/ha$ )	11.365	15.450	18.727	18.727	16.854	18.727	18.727	20.599	18.727	18.727	15.918
Hệ PT hồi quy tuyến tính	$ET_{o(v1)} = 0,112t - 0,415h + 0,308s + 0,587w - 0,049p$ $I_{0,75} = 0,879 * ET_{0,75}$ $Y_{0,75} = 0,994 * I_{0,75}$										
Thời gian	10-20/9	21-30/9	01-10/10	11-20/10	21-31/10	01-10/11	11-20/11	21-30/11	01-10/12	11-20/12	21-30/12
$K_c$	0,25	0,30	0,45	0,55	0,60	0,60	0,65	0,65	0,60	0,60	0,55
Mức nước tưới (mm)	8.929	12.137	14.712	14.712	13.241	14.712	14.712	14.712	14.712	14.712	12.505
Mức nước tưới ( $m^3/ha$ )	11.365	15.450	18.727	18.727	16.854	18.727	18.727	18.727	18.727	18.727	15.918
Hệ PT hồi quy tuyến tính	$ET_{o(v1)} = 0,112t - 0,415h + 0,308s + 0,587w - 0,049p$ $I_{0,75} = 0,879 * ET_{0,75}$ $Y_{0,75} = 0,994 * I_{0,75}$										



Hình 4.13: Giản đồ hệ số cây trồng  $K_c$  - trong kỹ thuật tưới nhỏ giọt

## KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

### 1. KẾT LUẬN

Luận án đã đạt được các kết quả chính mới như trình bày dưới đây:

#### ➤ Về nghiên cứu lan truyền nước trong kỹ thuật tưới nhỏ giọt (thấm nước)

1.1) Luận án đã nghiên cứu mới đối với lan truyền nước trong đất ở 3 khu vực: không trồng cây, trồng cây được tưới TKN và ở trong phòng điều cho thấy: (V<sub>Z</sub>) và (Z) lớn hơn (V<sub>R</sub>) và (R). Kết quả chỉ ra: **khí tưới được 40÷50 phút, nước đã lan truyền bao phủ hoàn toàn bộ rễ hoạt động (0÷20cm)**. Thiết lập tương quan và xây dựng phương trình hồi quy tuyến tính giữa: Z, R, W, V<sub>Z</sub>, V<sub>R</sub>, đều cho kết quả kiểm định đảm bảo yêu cầu, hệ số tương quan cao, các mô hình hồi quy tuyến tính phù hợp và có ý nghĩa suy ra tổng thể để ứng dụng vào thực tiễn sản xuất tương tự.

#### ➤ Về xây dựng đường đặc trưng ẩm của đất (pF)

1.2) Luận án đã xây dựng được đường đặc trưng ẩm (pF) của đất cát biển đã sử dụng vùng khô hạn NTB, để phục vụ tính toán lượng nước dễ hữu ích cho các loại cây trồng, sự tương quan khá chặt chẽ ( $R^2 > 0,9$ ).

(1.2.1) Tổng lượng trữ nước hữu ích trong đất (TAW) so với lượng trữ ẩm đồng ruộng là khá cao, từ 56,91% (0÷10cm) ÷ 64,64% (50÷60cm).

(1.2.2) Tổng lượng nước dễ hữu ích (TRAW) và độ ẩm tối thiểu thích hợp cho cây ( $\theta_p$ ) của các loại cây trồng cạn phổ biến vùng khan hiếm nước: **Cây nho ăn quả**: 10,35mm,  $\theta_p$ : 8,76%TT; **Thanh long**: 17,75mm,  $\theta_p$ : 7,17%TT; **táo**: 22,28mm,  $\theta_p$ : 6,93%TT; **mía**: 19,22mm,  $\theta_p$ : 6,85%TT; **cây rau (các loại)**: 9,27mm,  $\theta_p$ : 8,31%TT; **Hành tỏi**: 4,71mm,  $\theta_p$ : 9,6%TT. **Đất canh tác cần được tưới để duy trì độ ẩm trong khoảng từ độ ẩm tối thiểu thích hợp cho cây ( $\theta_p$ ) đến độ ẩm đồng ruộng ( $\theta_{fc}$ ).**

#### ➤ Về nghiên cứu động thái ẩm của đất

1.3) Luận án xác định được động thái ẩm của đất trồng cây nho lấy lá vùng khan hiếm nước (vùng khô hạn) Nam Trung Bộ. Kết quả chỉ ra rằng:

(1.3.1) Khu vực KoTC: độ ẩm của đất tăng dần theo chiều sâu tầng đất, tầng (0÷5cm) có giá trị nhỏ nhất, tầng (25÷30cm) có giá trị lớn nhất;

(1.3.2) Khu vực được tưới TKN: tầng 5÷20cm suy giảm độ ẩm nhanh do bộ rễ hút nước giúp cây phát triển. Tầng 20÷30cm không chứa rễ cây nên độ ẩm giảm chậm nhất so với các tầng phía trên, nước chủ yếu thấm xuống dưới chứ không phải do rễ hút. Như vậy, **từ tầng 20÷30cm xuống phía dưới, nước tưới ít mang lại hiệu quả cho cây nho lấy lá, nên cần lưu ý để hạn chế tưới nhiều nước gây thấm sâu xuống tầng đất này;**

(1.3.3) Động thái ẩm khu vực được tưới TKN: **CK2**: độ ẩm cuối CK vẫn lớn hơn ( $\theta_p$ ), cây không bị thiếu nước. **CK3** và **CK4**: được tưới nhiều hơn CK2 nên thấm vào đất khá lớn, giai đoạn đầu và giữa CK cây



vẫn hút đủ nước, nhưng vào ngày cuối của CK độ ẩm đã giảm và thấp hơn  $\theta_p$ , đôi khi gần sát  $\theta_{wp}$ , cây bị thiếu nước. Vì vậy, để đảm bảo cho cây trồng phát triển tốt, đề nghị áp dụng chu kỳ tưới là 2 ngày/lần;

(1.3.4) Khu vực tưới truyền thống: độ ẩm giảm dần theo chiều sâu tầng đất (do bộ rễ hoạt động nằm sâu), mức suy giảm ở đầu chu kỳ tưới lớn hơn khu vực KoTC và khu tưới TKN (do thâm sâu gây lãng phí nước);

(1.3.5) Sự giảm độ ẩm ban ngày lớn hơn buổi tối và đêm, buổi chiều giảm nhiều hơn buổi sáng. Từ 9÷15g có mức giảm lớn nhất. Vì vậy, người dân nên tưới vào buổi sáng để cây hút nhiều nước phục vụ tốt quá trình quang hợp, trao đổi chất và cân bằng nhiệt trong thân khi trời nắng;

(1.3.6) Thiết lập tương quan và xây dựng phương trình hồi quy tuyến tính các nhân tố: (a) Thực nghiệm thăm, (b) Đường đặc trưng ẩm (pF) và nước trong đất, (c) Đường đặc trưng ẩm và độ ẩm các tầng đất. Kết quả kiểm định đảm bảo yêu cầu, hệ số tương quan cao, các mô hình hồi quy tuyến tính được xây dựng phù hợp và có ý nghĩa suy ra tổng thể.

➤ **Về nghiên cứu mô phỏng động thái ẩm của đất**

1.4) Ứng dụng mô hình Coup Model mô phỏng truyền ẩm và nhiệt trong hệ thống đất-cây trồng-không khí có kết quả khá sát với quan trắc thực tế.

➤ **Đề xuất chế độ tưới hợp lý cho cây nho lấy lá trong kỹ thuật tưới nhỏ giọt**

1.5) Luận án đã chỉ ra rằng:

(1.5.1) CK2 ( $m_{(3)}$ ) có lượng nước thừa thấp nhất, ở thời điểm cuối CK2, đất vẫn đảm bảo độ ẩm cho cây trồng hấp thụ và phát triển tốt, đạt năng suất cao. Các lô thuộc: CK2 ( $m_{(1)}$  và  $m_{(2)}$ ), CK3 và CK4 nước tưới đã thấm vượt qua bộ rễ hoạt động gây lãng phí, ở cuối CK3 và CK4 độ ẩm đất bị giảm không đảm bảo đủ nước cho cây trồng hấp thụ để phát triển;

(1.5.2) Mức tưới ít nước ( $m_{(3)}$ ) tiết kiệm được khá nhiều nước so với 2 mức tưới còn lại;

(1.5.3) Các lô có lắp đặt hệ thống tưới phun mưa có hiệu quả sử dụng nước cao hơn các lô tưới nhỏ giọt đơn thuần và đối chứng. Các lô CK2 có hiệu quả sử dụng nước cao hơn CK3 và CK4. Các lô có mức tưới ít nước ( $m_{(3)}$ ) đạt hiệu quả sử dụng nước cao nhất;

(1.5.4) Hiệu suất nước tưới khi áp dụng kỹ thuật tưới TKN cho thấy: thứ tự sắp xếp trong mỗi chu kỳ tưới cũng giảm dần từ lô có mức tưới ít nước ( $m_{(3)}$ ) tới lô có mức tưới nhiều nước ( $m_{(1)}$ );

(1.5.5) Sự phát triển của cây ở các lô tưới nhỏ giọt kết hợp tưới phun mưa nhanh và đẹp hơn, thời gian thu hoạch sản phẩm sớm, tập trung và đồng đều hơn so với các lô tưới nhỏ giọt đơn thuần và các lô đối chứng;

(1.5.6) Lợi nhuận các lô được tưới phun mưa lớn hơn các lô tưới nhỏ giọt đơn thuần và đối chứng; Các lô thuộc CK2 > CK3 > CK4;

(1.5.7) Thiết lập tương quan và xây dựng hệ phương trình hồi quy tuyến tính các nhân tố: khí tượng-lượng nước tưới-năng suất cây trồng đều đảm bảo yêu cầu kiểm định, hệ số tương quan cao, các mô hình hồi quy tuyến tính được xây dựng phù hợp và có ý nghĩa suy ra tổng thể;

(1.5.8) Luận án đã đề xuất lựa chọn chế độ tưới hợp lý cho cây nho lấy lá trong kỹ thuật tưới nhỏ giọt như sau:

(1) Tổng thời gian một vụ tạo tán và thu hoạch lá khoảng 4 tháng;

(2) Chu kỳ tưới là 2 ngày; Áp dụng mức tưới nhỏ giọt ít nước ( $m = 0,75$ );

(3) Lượng nước tưới nhỏ giọt ( $I_m$ ) được tính toán từ kết quả bốc thoát hơi ( $ETo$ ) và lượng mưa hiệu quả ( $P$ ) hàng ngày và hệ số nhu cầu nước tưới ( $Kc$ ) theo từng giai đoạn sinh trưởng và phát triển của cây, hoặc

(4) Lượng nước tưới nhỏ giọt ( $I_m$ ) cũng được tính với mức 0,725 (lít/cây.lần tưới) tương đương 3,745 ( $m^3/ha.lần tưới$ ) để duy trì độ ẩm trong tầng đất chứa bộ rễ hoạt động ( $0 \div 20cm$ ), tránh thấm sâu gây lãng phí nước.

## 2. KIẾN NGHỊ

- 2.1) Nghiên cứu xây dựng đường đặc trưng ẩm (đường cong pF) cho các loại đất chính dùng trong sản xuất nông nghiệp, trong đó có khu vực NTB.
- 2.2) Kiến nghị cần xây dựng bổ sung thêm đường đặc trưng ẩm của tầng đất, từ -60cm xuống tới độ sâu bằng 85÷90% bộ rễ hoạt động của cây, để tính lượng nước dễ hữu ích cho cây, phục vụ xác định chế độ tưới thích hợp cho các loại cây lâu năm như: điều, cà phê, ca cao, xoài, măng cầu...;
- 2.3) Đối với vùng khô hạn NTB, điều kiện khí hậu khắc nghiệt, để giảm sự thấm mất nước của đất, người dân cần tăng hàm lượng sét hoặc các chất mùn, chất keo cho đất, đồng thời nên áp dụng chế độ tưới ngăn ngày để duy trì độ ẩm đất, đảm bảo cho cây trồng hút nước và phát triển tốt;
- 2.4) Khi dùng kỹ thuật tưới nhỏ giọt, để nâng cao hiệu quả sử dụng nước tại khu vực có điều kiện tương tự và các loại cây trồng có đặc điểm tương tự cây nho lấy lá, để nước thấm hết tầng đất chứa bộ rễ hoạt động, chỉ cần tưới từ 40÷50phút cho độ sâu ( $0 \div 20cm$ ), hoặc từ 90÷100phút cho tầng ( $0 \div 30cm$ ), hoặc từ 180÷190phút cho tầng ( $0 \div 40cm$ ), sau đó dùng tưới tránh lãng phí nước do thấm sâu, đồng thời nên áp dụng CK2 ngày để độ ẩm đất luôn nằm trong khoảng độ ẩm thích hợp cho cây ( $\theta_{p \div \theta_{fc}}$ );
- 2.5) Nghiên cứu thêm về thấm khi các tầng đất không đồng nhất theo độ sâu, địa hình không bằng phẳng, mực nước ngầm thay đổi và có ảnh hưởng tới cây trồng để ứng dụng trong thực tiễn sản xuất một cách hiệu quả;
- 2.6) Nghiên cứu dự báo ngăn ngày các yếu tố khí tượng để tính lượng nước tưới và xác định tác động của khí hậu đến sự phát triển của cây trồng.

# CÔNG TRÌNH CÔNG BỐ CỦA TÁC GIẢ

## I. Bài báo quốc tế

- [1] Tran Thai Hung, Xing Wengang, Zhang Juan. (2007). *The Technique of Economic Irrigation*. The International Journal of Effective utilization of Agricultural soil & water resources and protection of environment, China. pp 160 ÷ 164.
- [2] Tran Thai Hung, Xing Wengang, Hoang Cam Chau. (2008). *Research on suitable drip irrigation schedule for tomato*. Center for Science and Technology Development, Ministry of Education, China.
- [3] Tran Thai Hung, Xing Wengang. (2009). *Research on infiltration flow and soil moisture dynamics according to soil depth for drip irrigation technique*. Center for Science and Technology Development, Ministry of Education, China.
- [4] Tran Thai Hung, Vo Khac Tri, Le Sam. (2016). *Research on Infiltration Spread in Soil of Drip Irrigation Technique for Grape Leaves at the Water Scarce Region of Vietnam*. International Journal of Agricultural Science and Technology (IJAST). DESTech Publications, Inc. USA. Vol4, No. 2 – August 2016, pp. 45 ÷ 54.

## II. Bài báo trong nước

- [5] Trần Thái Hùng. (2009). *Nghiên cứu diễn biến dòng thấm và độ ẩm theo chiều sâu của đất đối với kỹ thuật tưới nhỏ giọt*. Tuyển tập KH&CN Viện Khoa học Thủy lợi miền Nam. Số 11, trang 185 ÷ 197.
- [6] Trần Thái Hùng, Nguyễn Văn Lâm, Lê Sâm. (2014). *Nghiên cứu đánh giá tiềm năng và đề xuất giải pháp khai thác sử dụng hợp lý và bền vững tài nguyên nước phục vụ phát triển nông thôn mới vùng Duyên hải miền Trung*. Tạp chí Khoa học và Công nghệ Thủy lợi. Số 21, trang 32 ÷ 40.
- [7] Trần Thái Hùng, Võ Khắc Trí, Lê Sâm. (2014). *Nghiên cứu đề xuất giải pháp khoa học và công nghệ về hạ tầng cơ sở thủy lợi phục vụ phát triển cây nho lấy lá xuất khẩu tại tỉnh Bình Thuận*. Tạp chí Nông nghiệp và PTNT (chuyên đề Bảo vệ môi trường trong ngành Nông nghiệp & PTNT), trang 11 ÷ 19.
- [8] Trần Thái Hùng, Võ Khắc Trí, Lê Sâm. (2015). *Nghiên cứu diễn biến lan truyền thấm trong đất của kỹ thuật tưới nhỏ giọt cho cây nho lấy lá trên vùng khan hiếm nước*. Tạp chí Khoa học và Công nghệ Việt Nam. Tập 3, Số 11, trang 8 ÷ 12.
- [9] Trần Thái Hùng, Võ Khắc Trí, Lê Sâm. (2016). *Nghiên cứu thực nghiệm chế độ tưới thích hợp cho cây nho lấy lá bằng kỹ thuật tưới nhỏ giọt tại vùng khan hiếm nước*. Tạp chí KHKT Thủy lợi và Môi trường, Đại học Thủy lợi. Số 55, trang 73 ÷ 82.
- [10] Trần Thái Hùng, Võ Khắc Trí, Lê Sâm. (2017). *Nghiên cứu thực nghiệm xây dựng đường đặc trưng ẩm của đất (pF) phục vụ xác định chế độ tưới hợp lý cho cây trồng cạn tại vùng khô hạn Nam Trung Bộ*. Tạp chí KHKT Thủy lợi và Môi trường, Đại học Thủy lợi. Số 57, trang 40 ÷ 49.
- [11] Trần Thái Hùng. (2018). *Nghiên cứu thực nghiệm động thái ẩm của đất trong kỹ thuật tưới nhỏ giọt để xác định chế độ tưới hợp lý cho cây nho lấy lá vùng khan hiếm nước (vùng khô hạn)*. Tạp chí Khoa học và Công nghệ Thủy lợi. Số 42, trang 65 ÷ 77.
- [12] Trần Thái Hùng. (2018). *Nghiên cứu thực nghiệm diễn biến thấm trong đất của kỹ thuật tưới nhỏ giọt phục vụ tưới tiết kiệm nước hợp lý cho cây trồng cạn tại vùng khô hạn Nam Trung Bộ*. Tạp chí Khoa học và Công nghệ Thủy lợi. Số 47 (Đã chấp thuận được đăng tháng 9/2018).

## HƯỚNG DẪN NGHIÊN CỨU VÀ GIẢNG DẠY TRONG NỘI DUNG LUẬN ÁN

- 1) Đồng hướng dẫn nghiên cứu thực nghiệm hiện trường năm 2012 và hoàn thành luận văn Đại học cho 02 sinh viên Viện Công nghệ Hoàng gia Thụy Điển, năm 2013:  
Tên sinh viên: (1) Sara Andersson; (2) Julia Cavell  
Tên luận văn: *Long-term water modelling of the Soil-Plant-Atmosphere System*  
- A study conducted for the growing of Grape Leaves with drip irrigation in Binh Thuan Province, Vietnam.
- 2) Giảng dạy 24 học viên tại Sở Nông nghiệp và PTNT tỉnh Bình Thuận, tháng 11 năm 2011 về chủ đề: *Sử dụng hiệu quả và tiết kiệm nước tưới trên một số cây trồng*.

**MINISTRY OF EDUCATION – MINISTRY OF AGRICULTURE  
AND TRAINING AND RURAL DEVELOPMENT**

**VIETNAM ACADEMY FOR WATER RESOURCES  
SOUTHERN INSTITUTE OF WATER RESOURCES RESEARCH**

-----\*-----

**TRAN THAI HUNG**

**RESEARCH ON SOIL MOISTURE DYNAMIC  
OF DRIP IRRIGATION TECHNIQUE IN ORDER TO DETERMINE  
THE SUITABLE IRRIGATION SCHEDULE FOR GRAPE LEAVES  
IN THE WATER SCARCE REGION**

**MAJOR IN: WATER RESOURCES ENGINEERING**

**CODE: 9 58 02 12**

**SUMMARY OF ENGINEERING PHD DISSERTATION**

**HO CHI MINH CITY - 2018**

**The dissertation has been completed at:**

**SOUTHERN INSTITUTE OF WATER RESOURCES RESEARCH**

**SCIENTIFIC SUPERVISORS:**

- 1. ASSOC PROF. DR VO KHAC TRI**
- 2. PROF. DR LE SAM**

**Reviewer 1:**

**Reviewer 2:**

**Reviewer 3:**

**The dissertation will be defended in front of the Board of thesis examiners – National Level**

**Meeting at:**

**SOUTHERN INSTITUTE OF WATER RESOURCES RESEARCH**

**658 Vo Van Kiet avenue, Ward 01, District 05, Ho Chi Minh City**

**At: .....o'clock, Date ..... month ..... year 2018**

**The dissertation is stored in:**

- National Library of Vietnam**
- Library of Vietnam Academy for Water Resources**
- Library of Southern Institute of Water Resources Research**

## INTRODUCTION

### 1. RESEARCHING IMPERATIVE

Ninh Thuan and Binh Thuan are two provinces in the driest region of the South Central part of Vietnam where there is the lowest precipitation of the country and the unequal distribution by time. Therefore, water resources for production should be utilised reasonably. The research on suitable water saving irrigation schedule for high economic crops is very important and necessary. Previous studies have often focused on the aspect of crops irrigation schedule for each irrigation technique, not much attention to soil moisture dynamic in the space of the active roots.

In the World, grape leaves (*Vitis Amurensis*) is cultivated a lot in USA, Turkey, Greece, Brazil... In Vietnam, the grape leaves variety named IAC 572 has been imported from Brazil by YERGAT FOOD Co., Ltd and Binh Thuan Socioeconomy development Centre (SEDEC) since 1999÷2010 for cultivating and exporting leaf production. Due to Grape leaves suitable for natural conditions in the South Central region (Ninh Thuan, Binh Thuan, Dong Nai provinces... so the plants developed very well and obtained high profit. There have not been any studies on suitable irrigation schedule for Grape leaves so far, especially in the water scarce tropics (droughty region) of the South Central part. Therefore, ***Research on soil moisture dynamic of drip irrigation technique in order to determine the suitable irrigation schedule for Grape leaves in the water scarce region of the South Central part of Vietnam*** was done, it aimed for clarifying the current urgent matters.

### 2. OBJECTIVES, OBJECT, SCOPE, CONTENTS AND METHODS

#### ***Objectives:***

(1) Determine water infiltration spread and soil moisture dynamic of drip irrigation technique;

(2) Propose the suitable schedule of water saving irrigation (drip irrigation technique) for Grape leaves cultivated at the water scarce region (the droughty one) in the South Central part, consisting of: Irrigation frequency, water amount and irrigation time for each growth stage;

***Research object:*** Research for a plant: Grape leaves in the water scarce region of Ninh Thuan and Binh Thuan; farming technique was row (furrow). The main irrigation was drip one (sprinkler only improved microclimate);

***Research scope:*** at the water scarce region (the droughty one) of Vietnam, including two provinces: Ninh Thuan and Binh Thuan; weather condition is sunny and hot, less precipitation; main soil is fine sand; privation of water surface condition; water saving irrigation experiment was carried out at Binh Thuan province;

***Research contents:*** Overview of research field;

Field survey, design and establishment of the experimental model for researching on suitable irrigation schedule for Grape leaves;

Experiment of irrigation, observation of water infiltration and soil moisture dynamic by time and space. Establishment of correlation and linear regressions of water infiltration and soil moisture dynamic;

Experiment of plant developing and growing process following the frequency, water amount and irrigation time for growth stages of a seasonal crops. Establishment of correlation and linear regressions of variables including: Meteorology (temperature, humidity, sunshine, wind, precipitation, evaporation) – Crop water requirement - Crop yields;

Application of the Coup Model for simulating moisture and heat transfer in the soil-plant-air system of drip irrigation technique;

Propose the suitable schedule of water saving irrigation (drip irrigation technique) for Grape leaves;

***Approachability:*** Approached comprehensively, systematically and practically, from general to detail; Inherited, selected knowledge experience, researches and databases; Approached ecosystem, sustainable and effective development; Minimized waste of land and water resources; Inherited/applied modern science and technology, achievements in irrigation and production, harvest and advanced products preservation.

***Research method:*** Theoretical analysis, collection and systematization; Selective inheritance and analysis of the research experience; Field survey; Laboratory and field experiments; Statistical data analysis; Mathematical modeling of water infiltration and moisture dynamics in drip irrigation.

### **3. SIGNIFICANCES AND NEW CONTRIBUTIONS OF THE THESIS**

#### ***Scientific significances:***

The research has established the pF Retention curve for cultivated soil – fine sand (named: Dystric Haplic Arenosols-ARh.d) of the water scarce region (the droughty one) to be the scientific basis for determining the suitable schedule of water saving irrigation for dry crops;

The research has established the correlation of Soil-Water-Crops-Climate to be the scientific basis of applied researches in irrigating for dry crops at the water scarce region (the droughty one);

The research has identified basic criteria of irrigation research and efficiency by drip irrigation technique for Grape leaves at the water scarce region (the droughty one) in the South Central part of Vietnam.

#### ***Practical significances:***

Grape leaves are of high economic value, but water lack for irrigation is an issue that hinders large development. Research results will help farmers

to save and improve the water use efficiency, serving the plant development on a larger scale to become a strong crop;

The research results are a reasonable choice for the conversion of crop structure towards diversification of highly economical (sustainable) crops and adaptation to natural conditions in water scarce region;

Applying research results to simplify the irrigation work, contributing to the plan for irrigation and development of exploitative and utilizable models of land-water resources for sustainable production and environmental protection.

***New contributions of the thesis:***

(1) Established the Soil Water Retention curves (pF) for cultivated soil (named: Dystri Haplic Arenosols-ARh.d) in order to effectively develop drip irrigation technique for every crops at the water scarce region (the droughty one) in the South Central part of Vietnam;

(2) Simulated water infiltration and soil moisture dynamic in the cultivated soil layer (active roots area) of the Grape leaves;

(3) Propose the suitable schedule of water saving irrigation (drip irrigation technique) for Grape leaves cultivated at the water scarce region (the drought one) in the South Central part of Vietnam.

**4. THE THESIS STRUCTURE**

The thesis is presented in 136 pages, consisting of 36 tables, 53 illustrative figures and explanation. The main thesis contents are 4 main chapters, Introduction and Conclusions - Recommendations, as follows:

*Introduction*

*Chapter 1: Overview of the research field;*

*Chapter 2: Theoretical basis and experimental layout;*

*Chapter 3: Experimental results and simulation of water infiltration, soil moisture dynamic of drip irrigation technique;*

*Chapter 4: Experimental results and establishment of the suitable irrigation schedule for Grape leaves in the water scarce region;*

*Conclusions and Recommendations.*

The annex is presented in 145 pages, consisting of 105 tables and 99 illustrative figures and explanation "*Summarizing the planting, care and harvesting of Grape leaves*".

**CHAPTER I: OVERVIEW OF THE RESEARCH FIELD**

**I.1 RESEARCH ON WATER MOVEMENT IN SOIL-WATER-PLANT SYSTEM**

The water regime of the soil is considered to be consisting of the phenomena of water entering the soil, its movement, keeping it in the soil layers and consuming it from the soil. Scientists believe that water



infiltration in soil can be divided into two phases: (1) Unstable infiltration, and (2) Permeability one. Research on water spread in the soil in order to determine the irrigation method and suitable water amount for each plant to improve water efficiency.

## **I.2 STUDY ON HYGROSCOPIC PRESSURE AND SOIL MOISTURE TO APPLY FOR CROP IRRIGATION AND DRAINAGE**

There are two methods to determine the hygroscopic pressure of the soil: (1) Direct measurement using measuring devices (Tensiometer, Capilarimeter or Vacuum chamber); (2) Indirect method is the utilization of instruments to measure certain parameters related to hygroscopic pressure by dependency functions, then calculate the hygroscopic one.

Determination of soil moisture by various methods: Weight, block and thermal capacity, Neutron tube, Time Domain Reflectometry TDR);

A soil water retention curve (pF) of each soil type is established to indicate the relationship between the hygroscopic pressure (h) and the soil moisture ( $\theta$ ). There are three methods to establish the pF retention curve: theory, experiment and semi-experiment. Application of the pF curve to: forecast irrigation demand for crops; establish the relationship between moisture-hygroscopic pressure-root density and water uptake of plant; evaluate salt transportation and soluble spread in soil; serve the irrigation for dry crops... Experimental research on the pF curve establishment to calculate the available soil water and readily available soil water for plants and determine the suitable water-saving irrigation schedule at the scarce region (droughty one) in the South Central region is almost unnoticed. Therefore, in order to improve the water use efficiency in production, it is necessary to establish the pF retention curve;

Experimental study on infiltration to inspect water lack/redundant irrigation is little interested in performing, mainly in analysis of physical and chemical properties, although results of this infiltration study are very important, because it is possible to happen redundant water during extended irrigation time (water will penetrate through active root zone). Therefore, most of the farmers have irrigated by traditional method, the irrigation time and water amount depend on the subjective people who is directly producing, causes a lot of waste water.

Currently, water saving irrigation technique has been applied widely in the world, countries like USA, Israel, Australia, Spain, Germany... have many experiences and achievements in this field, technological application and management of water saving irrigation in agricultural production, it can replace most conventional irrigation systems and bring high economic efficiency. In Vietnam, farmers have step by step replaced traditional

irrigation methods by this irrigation system, helping to save water and improve productivity and product quality.

Previous research has not yet paid much attention to soil moisture dynamic in the active root zone, so it has not been applied to determine the irrigation schedule for dry crops. Soil moisture of different irrigation techniques is different in time and space, so when drip irrigation technique is applied to practical production, there should be specific research on this matter, in which soil moisture is measured by the hours of the day, to see crops' effective water absorption, avoiding water lack/redundant irrigation when the optimal moisture zone exceeds or less than root space, then the correct irrigation rate will be determined for the following seasons

Irrigation schedule studies have been performed with a number of different methods for many dry crops. However, published results that determine the actual daily meteorological conditions to ensure sufficient water for crops have not been widely available yet, which limits the farmers' irrigation work, especially at the water scarce region (droughty one) in the South Central part.

Studies on vines in Vietnam are quite extensive, however the irrigation study has been performed very limited for a long time, it is no longer suitable for the present and future. Grape leaves is new, promising and economically productive in Vietnam, its irrigation schedule has been performed, the irrigation is subjective and mainly by the traditional method (waste water). Therefore, the scientific basis of irrigation schedule and care for Grape leaves is necessarily studied and determined in detail, especially in drip irrigation at the water scarce region in the South Central part.

### **I.3 CHARACTERISTICS OF RESEARCH REGION**

Ninh Thuan and Binh Thuan provinces have the most dry and rainy climate of Vietnam. Although the rivers and reservoirs at two provinces are quite plentiful, but due to the uneven rainfall in space and time, they are severely depleted in the dry season. Annual crop losses due to drought are high. In 2016, total area must stop producing in Ninh Thuan about 10,260ha: Winter-Spring crop was 5,775ha (rice 2,645ha, other farm produce 3,130ha); Summer crop was 4,495ha of rice. In Binh Thuan province, the total area of annual crops damaged until 2<sup>nd</sup>, 2016 was 1,400ha, including 150ha of rice (concentrated in districts as: Duc Linh 97ha, Ham Thuan Bac 19ha, Ham Tan 34ha), 300ha dragon fruit, 200ha cashew, 700ha sugarcane ... in Ham Tan.

The fallow land area of the two provinces is quite rich, but due to the inadequate condition of the water source so local people can not cultivate regularly and it greatly impact on the social of the whole region. Therefore, the application of water saving irrigation solution for crops is very necessary.

## CHAPTER II THEORETICAL BASIS AND EXPERIMENTAL LAYOUT

### II.1 THEORETICAL BASIS

#### II.1.1 Theoretical basis of water movement in the soil

**Darcy's Law** (for water flow in the saturated soil)

Flow discharge passes the unit of area A of the saturated soil mass:

$$Q = K * \left( \frac{H_2 - H_1}{\Delta L} \right) * A \quad (2.1)$$

Where:  $H_1$  and  $H_2$ : hydraulic head at inlet and outlet (cm);

$\Delta L$ : the length of the saturated soil mass following the flow (cm);

A: area of the saturated soil mass is perpendicular to the flow (cm<sup>2</sup>);

Q: Flow discharge passes the saturated soil mass (cm<sup>3</sup>/s);

The stable permeability passes the unit of area A in per time unit:

$$V = \frac{Q}{A} = K * j \quad (2.2)$$

Where: K: the hydraulic conductivity (cm/s);

J: the hydraulic gradient =  $\frac{H_2 - H_1}{\Delta L}$  (cm/cm);

**The water flow in the unsaturated soil**

The water flow in the unsaturated soil by Richards (1931):

$$q_w = -k_w \left( \frac{\partial \psi}{\partial z} - 1 \right) - D_v \frac{\partial C_v}{\partial z} + q_{bypass} \quad (2.3)$$

Where:  $k_w$ : the unsaturated hydraulic conductivity;

$\psi$ : the water tension; z: infiltration depth;

$C_v$ : the concentration of vapour in soil air;

$D_v$ : the diffusion coefficient for vapour in the soil;

$q_{bypass}$ : bypass flow in the macro-pores;

$q_{mat}$ : the matrix flow;

$q_w$ : total water flow is the sum of  $q_{mat}$ ,  $q_v$  (vapour flow), and  $q_{bypass}$ ;

The general equation for unsaturated water flow follows from the law of mass conservation:

$$q = \frac{(\theta_1 - \theta_2)}{\Delta t} \Delta z \quad (2.7) \quad \text{or} \quad \frac{q}{\Delta z} = \frac{(\theta_2 - \theta_1)}{\Delta t} \quad (2.8)$$

Where:  $\theta$ : the soil water content;

Equations (2.3) and (2.7) are two basic ones to calculate the soil water content.

#### II.1.2 Soil hydraulic functions

**a) Water retention curve (pF)**

Actual water tension,  $\psi$ , by Brook & Corey (1964), is given by:

$$S_e = \left( \frac{\psi}{\psi_a} \right)^{-\lambda} \quad (2.11)$$

Where:  $\psi_a$ : the air-entry tension;  $\lambda$ : the pore size distribution index;

The effective saturation,  $S_e$ , is defined as:

$$S_e = \frac{\theta - \theta_r}{\theta_s - \theta_r} \quad (2.12)$$

Where:  $\theta$ : the actual water content;  $\theta_s$ : the porosity;  $\theta_r$ : the residual water content (or water content that gradient  $d\theta/dh$  becomes zero);

The water retention function by Van Genuchten (1980), has been introduced:

$$S_e = \frac{1}{(1+(\alpha\psi)^{gn})^{gm}} \quad (2.13)$$

Where:  $\alpha$ ,  $g_n$  and  $g_m$ : are empirical parameters;

### **b) Unsaturated Conductivity**

The unsaturated conductivity,  $k_w^*$  is given by Mualem (1976):

$$k_w^* = k_{mat} S_e^{(n+2+\frac{2}{\lambda})} \quad (2.16)$$

If function (2.11) for water retention is used, the unsaturated conductivity,  $k_w^*$  is defined as:

$$k_w^* = k_{mat} \left(\frac{\psi_a}{\psi}\right)^{2+(2+n)\lambda} \quad (2.17)$$

Where:  $k_{mat}$ : the saturated matrix conductivity;

$n$ : a parameter accounting for pore correlation and flow path tortuosity;

Using the Van Genuchten equation (2.13),  $k_w^*$  is given:

$$k_w^* = k_{mat} \frac{(1-(\alpha\psi)^{gn})^{-1} (1+(\alpha\psi)^{gn})^{-gm})^2}{(1+(\alpha\psi)^{gn})^{\frac{gm}{2}}} \quad (2.18)$$

Where:  $\alpha$ ,  $g_n$  and  $g_m$ : are empirical parameters; (the same as (2.13));

As alternative options to the equations of Mualem eqs. (2.16)÷(2.18) the unsaturated hydraulic conductivity,  $k_w^*$ , can either be calculated as a simple power function of relative saturation:

$$k_w^* = k_{mat} \left(\frac{\theta}{\theta_s}\right)^{P_{nr}} \quad (2.19)$$

Or as a simple power function of effective saturation:

$$k_w^* = k_{mat} S_e^{P_{ne}} \quad (2.20)$$

Where:  $P_{nr}$ , and  $P_{ne}$ : parameters;  $S_e$ : the effective saturation;

$k_{mat}$ : the saturated matrix conductivity;

$\theta_s$ : the water content at saturation;  $\theta$ : actual water content;

The total hydraulic conductivity close to saturation is calculated as:

$$k_w^* = 10 \left( \log(k_w^*(\theta_s - \theta_m)) + \frac{\theta - \theta_s + \theta_m}{\theta_m} \log\left(\frac{k_{sat}}{k_w(\theta_s - \theta_m)}\right) \right) \quad (2.21)$$

Where:  $k_{sat}$ : the saturated total conductivity, including the macropores,  $k_w^*(\theta_s - \theta_m)$ : hydraulic conductivity below  $(\theta_s - \theta_m)$  at  $\psi_{mat}$ , calculated from equations (2.16) ÷ (2.18);

**c) Soil water availability and readily available soil water:** Following FAO, soil water availability in the layer (i) with thickness dz:

$$AW_{(i)} = 1000 * (\theta_{fc} - \theta_{wp}) * dz_{(i)} = 1000 * \theta_{aw(i)} * dz_{(i)} \text{ (mm)} \quad (2.22)$$

Where: AW: available soil water in the layer i) with thickness dz (mm).

$\theta_{aw}$ ,  $\theta_{fc}$ : available water content and field capacity ( $m^3/m^3$  or  $cm^3/cm^3$ );

$\theta_{wp}$ : water content at wilting point ( $m^3/m^3$  or  $cm^3/cm^3$ );

$dz_{(i)}$ : thickness of soil layer (i) (m).

Total available water content of all soil layers is calculated as:

$$TAW = \sum_1^n AW_{(i)} = 1000 \sum_1^n \theta_{aw(i)} * dz_{(i)} \text{ (mm)} \quad (2.23)$$

Where: i = 1 → n: ascending order of soil layer.

TAW: Total available water content (cumulation) of all soil layers z.

- Readily available water (RAW) is calculated as:

$$RAW = p * TAW \text{ (mm)} \quad (2.24)$$

Where: RAW: the readily available soil water in the layer z.

p: average fraction of (TAW) that can be depleted from the root zone before moisture stress (reduction in ET) occurs [ $0 \div 1$ ].

## II.2 CALCULATION OF WATER REQUIREMENT FOR CROPS

Total evaporation of a irrigation frequency (CK) n:

$$E_{pan(n)} = \sum_{i=1}^n E_{pan(i)} \text{ (mm)} \quad (2.25)$$

Reference crop evapotranspiration of the irrigation frequency (ETo):

$$ETo_{(i)} = K_{pan} * E_{pan(n)} \text{ (mm)} \quad (2.26)$$

Where:  $E_{pan(i)}$ : Total daily evaporation (mm);  $K_{pan}$ : pan coefficient;

n: irrigation frequency: 2 days (CK2), 3 days (CK3) or 4 days (CK4) per time;

Crop evapotranspiration or crop water need:

$$ETc = Kc * ETo \text{ (2.27) or } Wcrop = Kc * ETo \text{ (mm)} \quad (2.28)$$

Crop irrigation requirement (basic amount) of the irrigation frequency n:

$$Ist_{(n)} = ETc - P_{(n)} \text{ (mm)} \quad (2.29)$$

Where: Kc: crop factor;

$P_{(n)}$ : effective precipitation of the irrigation frequency n (mm);

$Ist_{(n)}$ : Crop irrigation requirement of the irrigation frequency n (mm);

After calculating Ist (basic irrigation amount) of the irrigation frequency n (mm), established more 2 other water amounts of experimental irrigation for comparing: changed up and down 25% of Ist (called: high and low irrigation amount), the corresponding factors:  $m_{(1)} = 1.25$  (high water level),  $m_{(2)} = 1.00$  (basic water level or medium one),  $m_{(3)} = 0.75$  (low water level).

Irrigation water rate for every experimental block (j) of the irrigation frequency n is calculated as:

$$I_{m(j)} = m_{(j)} * Ist_{(n)} / K_{ef} = m_{(j)} * (ETc - P_{(n)}) / K_{ef} \text{ (mm)} \quad (2.30)$$

Total Irrigation water amount for every experimental block (j):

$$W_{block(j)} = I_{m(j)} * F_{block} = I_{m(j)} * 10^{-3} * (1, l * b_i * L_b)(m^3) \quad (2.31)$$

Where:  $I_{m(j)}$ : Irrigation water rate for every experimental block (j);

$K_{ef}$ : drip irrigation system efficiency;  $m_{(j)}$ : water level factor;

$W_{block(j)}$ : Total water amount for every experimental block (j) ( $m^3$ );

$F_{block}$ : canopy shaded area on the ground at 12:00 ( $m^2$ );

$10^{-3}$ : factor of unit conversion from mm to m;

$B_i, L_b$ : canopy shaded width and length on the ground at 12:00 (m).

Irrigation experiment and observation of crop data was carried out in three seasons including: growing and developing stages; changes of tree-trunk, leaves, the roots and mass of living organisms...

## II.3. EXPERIMENTAL LAYOUT

### II.3.1. Location and characteristics of the experimental model

The experimental model was located at the South of the National highway No 1A (between the National highway 1A and the East sea), at Thuan Quy Commune, Ham Thuan Nam District, Binh Thuan Province;

Total area was 20,000 $m^2$  (shown in Figure 2.7). The experimental period was in 3 crop seasons (dry ones), from January, 2012 to May, 2013.

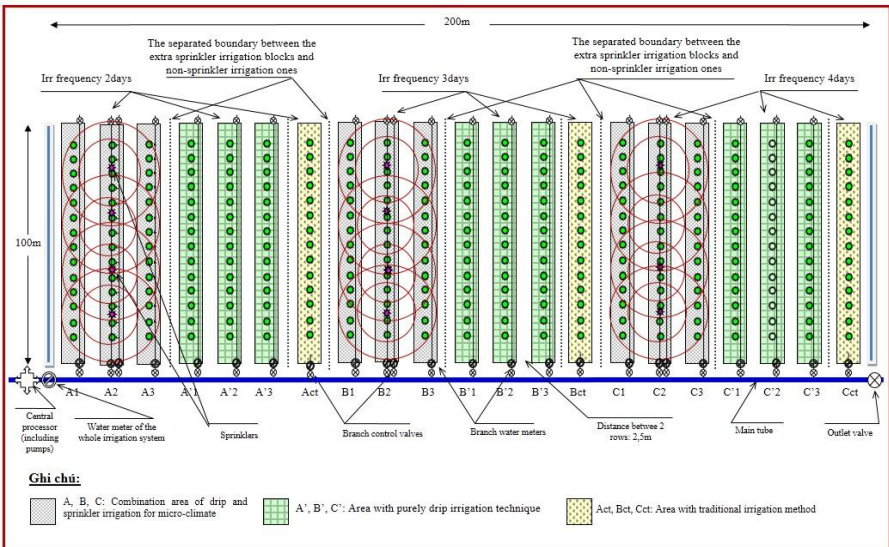


Figure 2.7: The sketch of the experimental model to research on water-saving irrigation schedule for Grape leaves at the scarce region region in the South Central part of Vietnam

### II.3.2. Experimental research content

Description of soil profile, test of the physical and chemical properties of soil and irrigation water; Set up the experimental model;

Experiment for establishing of the Soil Water Retention curves (pF);

Experiment for determining the saturated hydraulic conductivity at the field and in the laboratory;

Experiment of water infiltration and establishment of correlation about soil moisture dynamic;

Meteorological measurement for determining the irrigation schedule;

Experimental Irrigation and observation of crop development;

Result analyses and proposal of the suitable irrigation schedule for Grape leaves at the water scarce region in the South Central part of Vietnam;

### **CHAPTER III:**

## **EXPERIMENTAL RESULTS AND SIMULATION OF WATER INFILTRATION, SOIL MOISTURE DYNAMIC OF DRIP IRRIGATION TECHNIQUE**

### **III.1 STEADY INFILTRATION AT THE FIELD AND IN THE LABORATORY OF SATURATED SOIL**

At the field, the layer 0÷20cm has a hydraulic conductivity of 1.176 cm/minute, layer 20÷40cm is 1.152cm/min, layer 40÷60cm is 1.111 cm/min. In the laboratory, the hydraulic conductivity of layer 0÷20cm is high, vertical conductivity:  $k_z = 1.848\text{cm/min}$ ; horizontal one:  $k_r = 1.510\text{ cm/min}$ .

### **III.2 WATER INFILTRATION PROCESS**

#### **III.2.1 Infiltration process at the field**

The statistical analysis results showed that the infiltration depth (Z) and radius on the surface (R) at the cultivated area were larger than that one at the non-tree place (KoTC):

**CK2:** Despite surface evaporation, the soil still contains high moisture, so water infiltrated into the horizontal direction more than the deep one;

**CK3:** moisture content in soil was lower than CK2 so the water infiltrated into all three directions: horizontal, oblique and vertical ones;

**CK4:** it had a long time of irrigation frequency so the soil was drier and the moisture content decreased more than CK2 and CK3, the permeability velocity in CK4 was the highest, water infiltrated into the deep direction more than the horizontal one;

**Non-tree place (KoTC):**  $Z_{ck2\text{max}}: 43.37\text{cm}$ ,  $R_{ck2\text{max}}: 21.60\text{cm}$ ;  $Z_{ck3\text{max}}: 45.13\text{cm}$ ,  $R_{ck3\text{max}}: 20.1\text{cm}$ ;  $Z_{ck4\text{max}}: 45.61\text{cm}$ ,  $R_{ck4\text{max}}: 18.38\text{cm}$ ;

**Grape leaves cultivation place with drip irrigation technique (TKN):**  $Z_{ck2\text{max}}: 44.53\text{cm}$ ,  $R_{ck2\text{max}}: 23.4\text{cm}$ ;  $Z_{ck3\text{max}}: 46.03\text{cm}$ ,  $R_{ck3\text{max}}: 21.50\text{cm}$ ;  $Z_{ck4\text{max}}: 47.53\text{cm}$ ,  $R_{ck4\text{max}}: 19.95\text{cm}$ ;

Graphing correlative relationship between the factors: Z, R, W, t,  $V_z$ ,  $V_r$ , the determination coefficients of correlation were high ( $R^2 > 0.90$ )

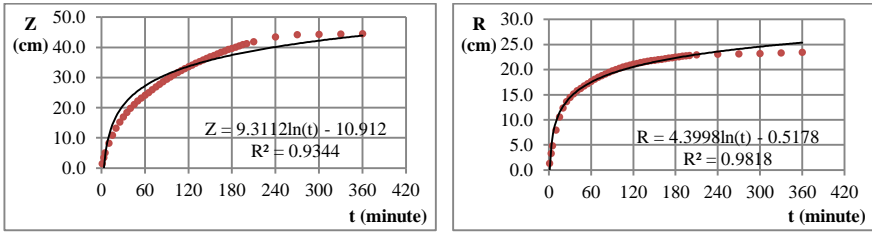


Figure 3.5: Correlation graph between the factors of two-day irrigation frequency (CK2) (At the tree place with water saving irrigation)

### III.2.2 Infiltration process at the laboratory

The observation results of infiltration process at the laboratory had the tends like the field results, as follows:  $Z_{ck4max}$ : 47.7cm,  $R_{ck4max}$ : 25.2cm;

Graphing correlative relationship between the factors:  $Z_{lab}$ ,  $R_{lab}$ ,  $W$ ,  $t$ ,  $V_{Zlab}$ ,  $V_{Rlab}$ , the determination coefficients of correlation were high ( $R^2 > 0.90$ )

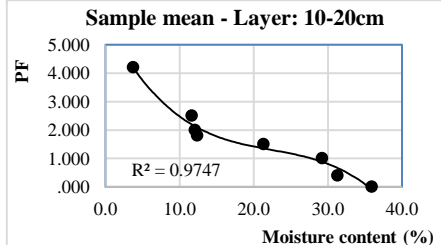
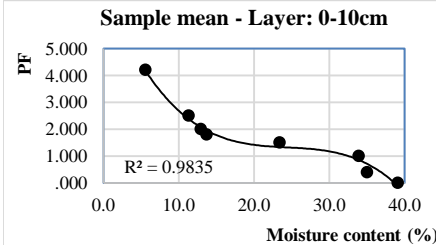
### III.3 WATER MAINTENANCE FEATURE AND AVAILABLE WATER

#### III.3.1 The pF Retention curve (pF curve)

Applied Van Genuchten’s model (1980) for establishing the pF curve to determine soil moisture dynamic, correlation coefficient  $R^2$  from 0.96 ÷ 0.99. The pF curve of six soil layers are typical for the fine sandy soil with relatively uniform curves and gentle slope.

Table 3.4: Measurement results of the pF Retention curve (sample mean)

Order	Pressure	Soil moisture content (% volume)							
	h (pF)	0.0	0.4	1.0	1.5	1.8	2.0	2.5	4.2
	h (cm)	0.0	2.5	10.0	31.6	63.1	100.0	316.2	15848.9
	h (bar)	0.0	0.002	0.010	0.031	0.062	0.098	0.310	15.543
Layer (cm)	Measured sand box						Measured pF Box		
1	0÷10	39.10	35.00	33.90	23.40	13.70	12.93	11.30	5.57
2	10÷20	35.93	31.33	29.23	21.33	12.40	12.10	11.67	3.76
3	20÷30	35.10	31.57	29.80	21.33	11.77	11.30	10.70	3.82
4	30÷40	31.60	29.57	28.07	20.23	11.43	11.00	10.27	4.61
5	40÷50	33.00	30.43	28.57	20.20	11.43	10.97	10.30	3.39
6	50÷60	32.23	30.03	27.87	19.63	10.97	10.63	10.20	3.23
7	0÷40	35.43	31.87	30.25	21.58	12.33	11.83	10.98	4.44
8	0÷60	34.49	31.32	29.57	21.02	11.95	11.49	10.74	4.06





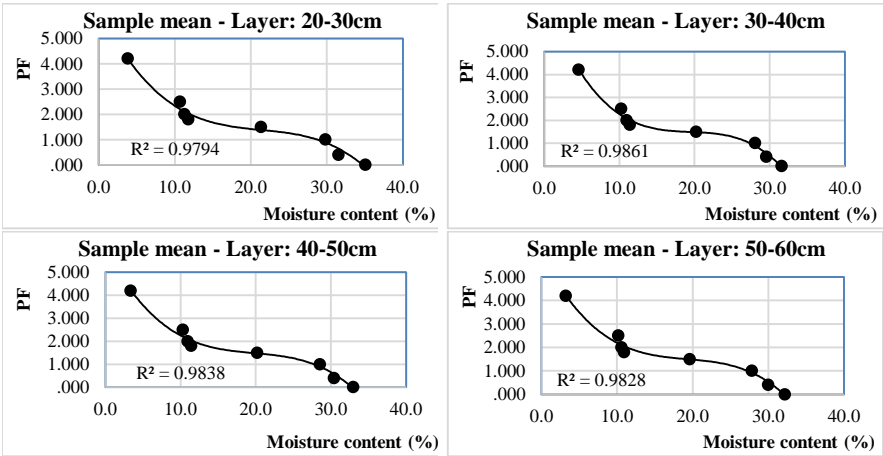


Figure 3.10: The pF retention curve by soil layer

Table 3.5: Cumulative water reserves, available water and readily available water for Grape leaves

Order	Layer (cm)	$\theta_{fc}$ (cm <sup>3</sup> /cm <sup>3</sup> )	$W_{fc}$ (mm)	$TW_{fc}$ (mm)	$\theta_{wp}$ (cm <sup>3</sup> /cm <sup>3</sup> )	$W_{wp}$ (mm)	$TW_{wp}$ (mm)	$\theta_{aw}$ (cm <sup>3</sup> /cm <sup>3</sup> )	AW (mm)	TAW (mm)	Factor P	RAW (mm)	TRAW (mm water)	$\theta_p$ (cm <sup>3</sup> /cm <sup>3</sup> )	$\theta_p$ (% TT)
1	0÷10	0,1293	12,93	12,93	0,0557	5,57	5,57	0,0736	7,36	7,36	0,35	2,58	2,58	0,1036	80,08
2	10÷20	0,1210	12,10	25,03	0,0376	3,76	9,33	0,0834	8,34	15,70	0,35	2,92	5,50	0,0918	75,87
3	20÷30	0,1130	11,30	36,33	0,0382	3,82	13,15	0,0748	7,48	23,19	0,35	2,62	8,12	0,0868	76,82
4	30÷40	0,1100	11,00	47,33	0,0461	4,61	17,76	0,0639	6,39	29,58	-	-	-	-	-
5	40÷50	0,1097	10,97	58,30	0,0339	3,39	21,14	0,0758	7,58	37,16	-	-	-	-	-
6	50÷60	0,1063	10,63	68,93	0,0323	3,23	24,37	0,0740	7,40	44,56	-	-	-	-	-

Where:  $\theta_{fc}$ ,  $\theta_{wp}$ ,  $\theta_{aw}$ : the water content at field capacity, wilting point and available water;  
 $W_{fc}$ ,  $TW_{fc}$ : the water amount and total cumulative water amount of soil at field capacity;  
 $W_{wp}$ ,  $TW_{wp}$ : the water amount and total cumulative water amount of soil at wilting point;  
 AW, TAW: the available water and total cumulative water amount of soil;  
 $p$ : the mean factor of total water amount (TAW);  
 RAW, TRAW: the readily available water and total readily available water for crops;  
 $\theta_p$ : the suitable minimum water content (the point P);

### III.3.2 The storage capacity of available water and the readily available water for crops

For the soil layer containing active roots of the plant from 0 ÷ 20cm (for plants with shallow roots near the ground surface),  $\theta_{fc}$  is 25.03 mm, TAW is 15.70mm (making up 62.73%  $\theta_{fc}$ ). In the whole layer 0 ÷ 60cm,  $\theta_{fc}$  is 68.93mm, TAW is 44.56mm (making up 64.64%  $\theta_{fc}$ );

Total readily available water for widespread dry crops at the water scarce region in the South Central part, as follows: **Vine**: TRAW: 10.36mm (making up 35.0% TAW).  $\theta_p$ : 8.76% volume (V); **Dragon**: TRAW:

17.75mm (60.0% TAW).  $\theta_p$ : 7.17% V; **Apple:** TRAW: 22.28mm (50.0% TAW).  $\theta_p$ : 6.93% V; **Sugar cane:** TRAW: 19.22mm (65.0% TRAW).  $\theta_p$ : 6.85% V; **Vegetables:** TRAW: 9.27mm (40.0% TAW).  $\theta_p$ : 8.31% V; **Union-garlic:** TRAW: 4.71mm (30.0% TAW).  $\theta_p$ : 9.6% V.

With Grape leaves, in the soil layer containing active roots of the plant 0÷20cm, TRAW is: 5.50mm (35.0% TAW),  $\theta_p$ : 9.18÷10.36% V. When the soil moisture decreases to the suitable minimum water content  $\theta_p$ , plant should be immediately irrigated water to absorb for well development.

### III.4 EXPERIMENTAL RESEARCH ON SOIL MOISTURE DYNAMIC

#### III.4.1 The soil moisture dynamic following the soil depth

At the end of the irrigation frequency, maximum moisture content was CK2, the medium one was CK3, the lowest one was CK4. At the area of KoTC: the upper layer moisture was smaller than the lower layer one. At the area of TKN: the moisture in the soil layer containing active roots was lower than other layers; the bottom layer was less affected by the meteorological factors and was not absorbed by the roots, so this layer moisture was higher than upper layers. At traditional irrigation area (CT): the lower layer moisture was smaller than the upper layer one because the active roots were mainly contained at below layer getting more water than the upper one.

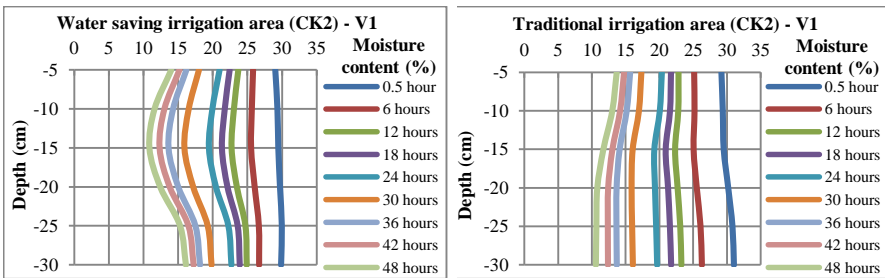


Figure 3.12: Moisture content following time and soil depth at two locations –V1

#### III.4.2 The soil moisture dynamic following the irrigation frequency

a) *At the KoTC:* moisture content comparison with  $\theta_p$  of dry crops at the end of the irrigation frequency, the results were as follows: garlic onions, vegetables, tomatoes, apples, dragon, sugarcane... When farmers apply water saving irrigation technique, irrigation frequency should not be lengthened more than 4 days; with drought plants (sugarcane, dragon...) can be irrigated with medium frequency (3 days), because plants with high sensitivity to water such as vegetables, tomatoes and onions will be waterless on the last days of the frequency. To avoid loss of productivity and product quality after harvesting, the irrigation frequency should be short (2 days).

**b) At the TKN:** Most of soil moisture at the end of CK3 and CK4 were less than  $\theta_p$ , in which the moisture in layer 10 ÷ 20cm of CK4 was sometimes equal to or approximately the moisture  $\theta_{wp}$ , it made difficulty for plant water absorption. Moisture at the end of CK2 was higher than  $\theta_p$ , which ensures for the crops sufficiently absorbed water to grow well.

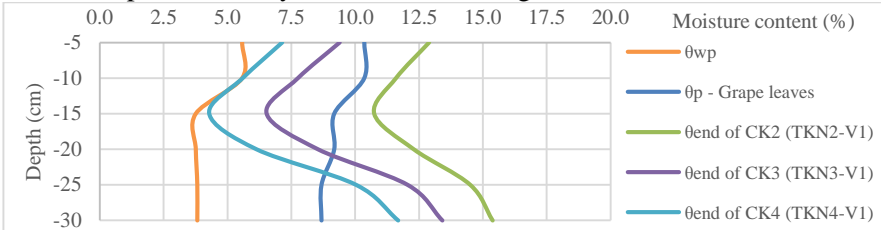
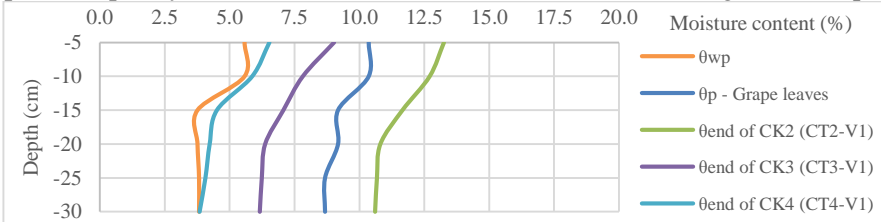


Figure 3.15: Moisture content comparison with  $\theta_{wp}$  và  $\theta_p$  at the end of frequencies – At the water saving irrigation area (TKN) - V1 season.

**c) At the traditional irrigation area for Grape leaves (CT):**

The moisture content at the end of CK3 and CK4 were lower than  $\theta_p$ , even CK4 was approximately  $\theta_{wp}$ , when crops had high water demand, trees absorbed water difficultly and light wilt, it was affecting the productivity and product quality of the whole season. Moisture of CK2 was higher than  $\theta_p$ .



Hình 3.16: Moisture content comparison with  $\theta_{wp}$  và  $\theta_p$  at the end of frequencies – At the traditional irrigation area (CT) - V1 season

### III.5.3 The soil moisture dynamic following time (o'clock)

**a) At the KoTC:** the smallest moisture decrease was from 21:00PM÷3:00AM; the third one was from 3:00AM÷9:00AM; the second one was from 15:00PM÷21:00PM and only lower than decrease from 9:00AM÷15:00PM; the largest one was from 9:00AM÷15:00PM. Layer 0÷5cm had the largest decrease, the next ones were layers 5÷10cm, 10÷15cm, 15÷20cm, 20÷25cm and 25÷30cm in turn.

**b) At the TKN:** Considering the moisture decrease between the soil layers, there was a clear difference in order compared to the KoTC, due to the roots' water absorption moving to the trunk and leaves for photosynthesis, metabolism for developing and thermal balance. Reduction order was: the layer 10÷15cm had the largest decrease, the next ones were layers 5÷10cm, 15÷20cm, 0÷5cm, 20÷25cm and 25÷ 30cm in turn.

c) *At the CT*: Daily moisture decrease was also as the TKN. Considering the moisture decrease between the soil layers, there was a clear difference in the order compared to the KoTC and TKN, the soil layer 20÷30cm had the greatest moisture decrease, the next ones were layers 15÷20cm, 10÷15cm, 5÷10cm and 0÷5cm in turn.

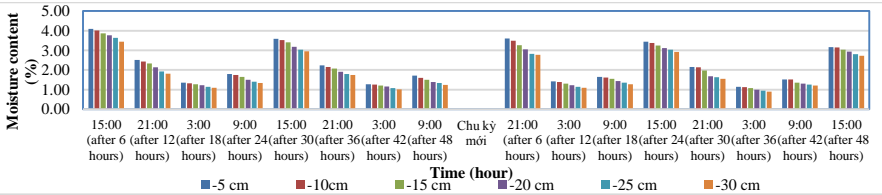


Figure 3.18: Daily moisture decrease of soil layers - at the KoTC, CK2-V1

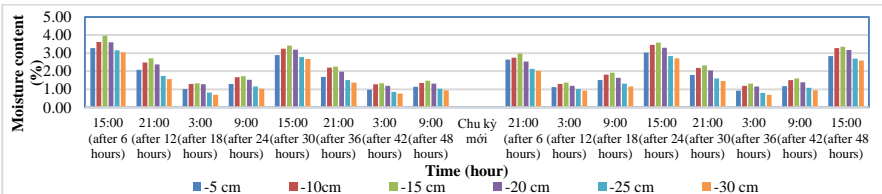


Figure 3.19: Daily moisture decrease of soil layers - at the TKN, CK2 - V1

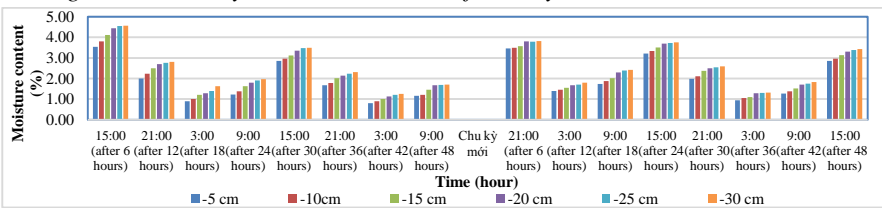


Figure 3.20: Daily moisture decrease of soil layers - at the CT, CK2 - V1

### III.5 APPLIED THE COUP MODEL FOR SIMULATING SOIL MOISTURE DYNAMIC IN THE SOIL-PLANT-AIR SYSTEM

#### III.5.1 Introduction of the Coup Model

The original name of the Coup Model was the Soil Model developed for simulating the water and heat movement for any cover-crop soil by the soil profile depth. The basic theory consists of: (1) Laws of mass and energy conservation; (2) Flow in the soil (Darcy's Law) or temperature (Fourier's Law).

#### III.6.2 Applied the Coup Model for simulating soil moisture dynamic in the soil-plant-air system

a) *Data input*: Input meteorological data, irrigation water, crops (leaf, root...), soil characteristic... to sheets as: Document, Run Info, Switches, Parameters, Parameter tables, Model files...;

Simulation for 3 seasons: V1 from 01/01 ÷ 30/4/2012, V2 from 01/9 ÷ 30/12/2012; V3 from 01/01 ÷ 30/4/2013.

**b) Analysis of simulation results**

Established the pF retention curve by the Coup Model based on soil properties, these results were quite similar with the measurement results of suction pressure in the laboratory.

Soil moisture dynamic: moisture at the beginning of the crop season was low. After irrigating, the moisture increased and maintained higher than at the beginning time, this result was also consistent with the field actual observation. The evapotranspiration (soil and leaf) during the irrigation and the crop development, the amplitude was from 0.5÷4mm/day. Water absorption of the roots was from 0÷2mm/day the evapotranspiration. The soil temperature change was following the depth, the layer 0÷5cm was from 18÷22°C, the amplitude of lower layers decreased from 1.5÷2°C and quite evenly by time. The concentrated development of active roots by simulation result was similar to the active root development in the field.

**III.6 EXPERIMENTAL DATA TEST, CORRELATION ANALYSIS AND LINEAR REGRESSION ESTABLISHMENT**

Data processing by statistical analysis, Cronbach's Alpha reliability testing and Exploratory factor analysis. Mean different test of statistical significance by One-way Analysis of Variance (ANOVA), in which the Levene Statistic test - homogeneous variance, F test - statistically significant difference (ANOVA) and Welch test - a supposition breach of heterogeneity variances. The test results are statistically required for calculation, analyzing and establishing linear regression equations between the factors.

Test results of correlation coefficient ensure the correlation of factors are very closely. The regression equations are as follows:

*Table 3.15: Regression equations of the water infiltration in soil*

Area	Relation of factors	CK2	CK3	CK4
TKN	$f(Z) = f(t)$	$Z_2 = 0,957t_2$	$Z_3 = 0,969t_3$	$Z_4 = 0,961t_4$
	$f(Z) = f(W, R)$	$Z_2 = 0,481W_2 + 0,555R_2$	$Z_3 = 0,596W_3 + 0,445R_3$	$Z_4 = 0,582W_4 + 0,467R_4$
	$f(Vz) = f(W, R)$	$V_{Z_2} = 0,397W_2 - 1,300R_2$	$V_{Z_3} = 0,357W_3 - 1,253R_3$	$V_{Z_4} = 0,289W_4 - 1,199R_4$
	$f(R) = f(t)$	$R_2 = 0,858t_2$	$R_3 = 0,838t_3$	$R_4 = 0,813t_4$
	$f(R) = f(W)$	$R_2 = 0,858W_2$	$R_3 = 0,838W_3$	$R_4 = 0,813W_4$
	$f(V_R) = f(W, R)$	$V_{R_2} = 0,554W_2 - 1,417R_2$	$V_{R_3} = 0,488W_3 - 1,355R_3$	$V_{R_4} = 0,432W_4 - 1,296R_4$

*Table 3.16: Test results and establishment of regression equations between the pF retention curve – TAW<sub>(pF2)</sub> and the pF retention curve – TRAW<sub>(pF)</sub>*

Order	Relation of factors	r	R <sup>2</sup>	F	t	VIF	Eigenvalue	Regression equations
		> 0,5	> 0,5	< 0,05	< 0,05	< 10	> 1	
1	$f(TAW) = f(\theta_{pF2})$	0,946	0,868	0,004	0,004	1,00	1,998	$TAW = 0,946 * \theta_{pF2}$
2	$f(TRAW) = f(\theta_{pF})$	0,946	0,868	0,004	0,004	1,00	1,998	$TRAW = 0,946 * \theta_{pF}$

Table 3.17: Regression equations of soil moisture ( $\theta_{zi}$ ) and the  $pF$  curve

Order	Season	Area	Layer Zi (cm)	CK2	CK3	CK4
1	V1 and V3	TKN	0 ÷ 5	$\theta_{Z5} = 0,952 * \theta_{pF}$	$\theta_{Z5} = 0,946 * \theta_{pF}$	$\theta_{Z5} = 0,942 * \theta_{pF}$
			5 ÷ 10	$\theta_{Z10} = 0,953 * \theta_{pF}$	$\theta_{Z10} = 0,949 * \theta_{pF}$	$\theta_{Z10} = 0,946 * \theta_{pF}$
			10 ÷ 15	$\theta_{Z15} = 0,955 * \theta_{pF}$	$\theta_{Z15} = 0,952 * \theta_{pF}$	$\theta_{Z15} = 0,950 * \theta_{pF}$
			15 ÷ 20	$\theta_{Z20} = 0,955 * \theta_{pF}$	$\theta_{Z20} = 0,951 * \theta_{pF}$	$\theta_{Z20} = 0,948 * \theta_{pF}$
			20 ÷ 25	$\theta_{Z25} = 0,949 * \theta_{pF}$	$\theta_{Z25} = 0,942 * \theta_{pF}$	$\theta_{Z25} = 0,939 * \theta_{pF}$
2	V2	TKN	25 ÷ 30	$\theta_{Z30} = 0,947 * \theta_{pF}$	$\theta_{Z30} = 0,939 * \theta_{pF}$	$\theta_{Z30} = 0,937 * \theta_{pF}$
			0 ÷ 5	$\theta_{Z5} = 0,948 * \theta_{pF}$	$\theta_{Z5} = 0,948 * \theta_{pF}$	$\theta_{Z5} = 0,941 * \theta_{pF}$
			5 ÷ 10	$\theta_{Z10} = 0,951 * \theta_{pF}$	$\theta_{Z10} = 0,950 * \theta_{pF}$	$\theta_{Z10} = 0,946 * \theta_{pF}$
			10 ÷ 15	$\theta_{Z15} = 0,954 * \theta_{pF}$	$\theta_{Z15} = 0,952 * \theta_{pF}$	$\theta_{Z15} = 0,950 * \theta_{pF}$
			15 ÷ 20	$\theta_{Z20} = 0,954 * \theta_{pF}$	$\theta_{Z20} = 0,953 * \theta_{pF}$	$\theta_{Z20} = 0,947 * \theta_{pF}$
2	V2	TKN	20 ÷ 25	$\theta_{Z25} = 0,941 * \theta_{pF}$	$\theta_{Z25} = 0,941 * \theta_{pF}$	$\theta_{Z25} = 0,937 * \theta_{pF}$
			25 ÷ 30	$\theta_{Z30} = 0,939 * \theta_{pF}$	$\theta_{Z30} = 0,937 * \theta_{pF}$	$\theta_{Z30} = 0,934 * \theta_{pF}$

## CHAPTER IV:

### EXPERIMENTAL RESULTS AND ESTABLISHMENT OF THE SUITABLE IRRIGATION SCHEDULE FOR GRAPE LEAVES IN THE WATER SCARCE REGION

#### IV.1 IRRIGATION WATER AMOUNT FOR CROPS

##### IV.1.1 Comparison of water amount for each irrigation time

Statistical analysis results of infiltration experiment showed that irrigation water amounts of CK2: 1.05 liter/dripper (or 5.383m<sup>3</sup>/ha, infiltration depth Z = 24.1cm, active root depth 14.6 ÷ 15.4cm; CK3: 1.053 lit/drip (or 5.973m<sup>3</sup>/ha, Z = 23.8cm, root depth 16.8 ÷ 17.7cm) and CK4: 0.8825 lit/drip (or 4.523m<sup>3</sup>/ha, Z = 23.8cm, root depth 19.0 ÷ 20.2cm) for comparison as:

Irrigation times of A3 and A'3 (low water level m<sub>(3)</sub> in CK2) with water content was smaller than 5.383m<sup>3</sup>/ha occupying the highest rate, it means that the excess water was the lowest. At the end of the irrigation frequency, the soil still maintained moisture for plants to absorb and grow well, get high yield. At other blocks of CK2 (irrigation level m<sub>(1)</sub> and m<sub>(2)</sub>), especially CK3 and CK4 (for all m<sub>(1)</sub>, m<sub>(2)</sub> and m<sub>(3)</sub>), there was a water part infiltrated deeply and over-root zone causing water waste, at the end of CK3 and CK4, moisture still reduced, not enough water for plants to absorb and develop.

##### IV.1.2 Comparison of water amount following the irrigation frequency

In 3 seasons as: (1) **CK2** (comparison with Act): A1-A'1 saved 67,603 ÷ 106,459m<sup>3</sup>/ha; A2-A'2 saved 162,619 ÷ 192,619m<sup>3</sup>/ha; A3-A'3 saved 227,764 ÷ 287,635m<sup>3</sup>/ha. (2) **CK3** (comparison with Bct): B1-B'1 saved 74,118 ÷ 116,009m<sup>3</sup>/ha; B2-B'2 saved 150,086 ÷ 208,410m<sup>3</sup>/ha; B3-B'3 saved 226,054 ÷ 306,581m<sup>3</sup>/ha. (3) **CK4** (comparison with Cct): C1 - C'1

saved  $136,881 \div 207,816 \text{ m}^3/\text{ha}$ ; C2 - C'2 saved  $215,397 \div 295,747 \text{ m}^3/\text{ha}$ ; C3 - C'3 saved  $293,913 \div 391,083 \text{ m}^3/\text{ha}$ .

### IV.1.3 Comparison of the highest water amount - Block Cct

All experimental blocks have lower irrigation water amount than block Cct, in which blocks with low water level ( $m_{(3)}$ ) were equal 40÷50% of Cct.

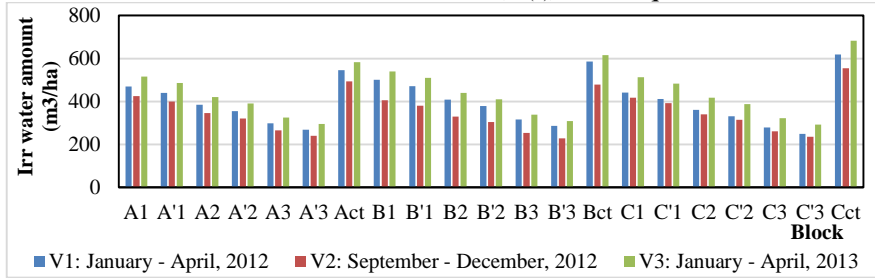


Figure 4.4: Total irrigation water amount for crops in three seasons

## IV.2 EFFICIENCY OF WATER SAVING IRRIGATION TECHNIQUE TO CROPS' DEVELOPMENT AND YIELD

### IV.2.1 Descriptive statistics analysis of the leaf development

The statistical analysis results of harvested leaves were quite small standard deviations compared to sample mean. Leaves of blocks with extra sprinkler irrigation developed faster and more equally than blocks' purely drip irrigation. The leaves of CK2 grew faster and more equally than CK3 and CK4. In CK3 and CK4, the leaf development of blocks' high water level was faster than medium and less water level. Block C'3 (CK4) had some leaves waiting for 40 days to achieve the required size. The leaf development order is as follows: **Blocks A1, A2, A3 > A'1, A'2, A'3 and Act > B1, B2, B3 > B'1, B'2, B'3 and Bct > C1, C2, C3 > C'1, C'2, C'3 and Cct.**

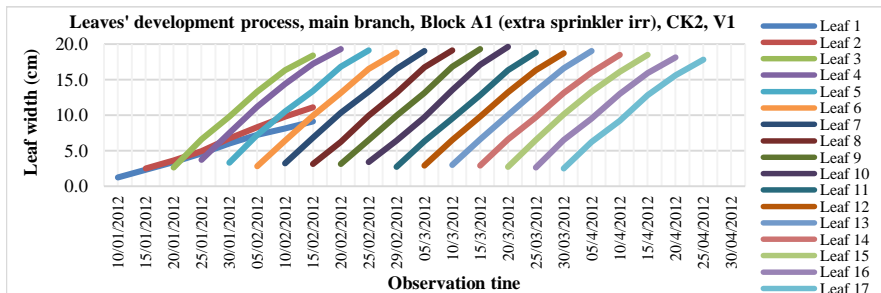


Figure 4.5: Grape leaves' development process in the season V1

### IV.2.2 Development of the tree-trunk and active roots

The trunk perimeter of CK2 was larger than CK3 & CK4, but the difference was a little. The roots of water-saving irrigated plants tended to thrive in arable layer (0÷20cm) which regularly maintains moisture.

### IV.2.3 Biomass of leaves and tree-trunk

The water rate of the leaves and trunk was quite large, season V2 has more water rate than in V1 and V3; in CK2 was larger than in CK3 and CK4.

### IV.2.4 Product harvest process and crop yield

Compared to the same irrigation frequencies, the leaf weight of the sprinkler irrigation blocks was greater than in other ones. The productivity of CK2 was higher than CK3 and CK4 (the same irrigation level). The CK2 had yield at the harvest beginning not much difference with the next harvests, harvest time of large scale was more early than CK3 and CK4. In CK3 and CK4, yield at the harvest beginning was low, usually concentrated in the middle and late seasons (because the leaves grew more slowly than CK2).

The productivity order of blocks is as follows: *A1, A2, A3, A'1, A'2, A'3, Act > B1, B2, B3, B'1, B'2, B'3, Bct > C1, C2, C3, C'1, C'2, C'3, Cct*

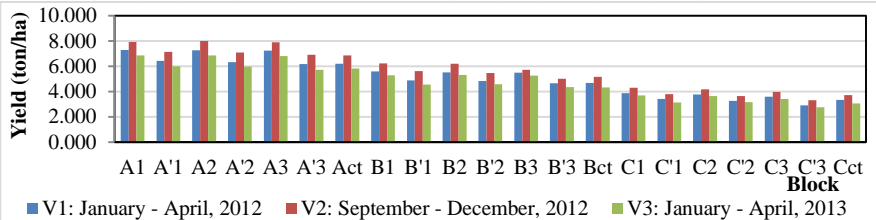


Figure 4.8: Crop yield of experimental blocks - in three seasons

### IV.3 WATER USE EFFICIENCY - WUE

Sprinkler irrigation blocks' WUE were higher than purely drip and traditional irrigation ones. Blocks' WUE in CK2 were higher than CK3 and CK4. In the same irrigation frequencies, WUE of low irrigation level blocks ( $m_{(3)}$ ) was the highest, the next by medium one ( $m_{(2)}$ ) and high one ( $m_{(1)}$ ).

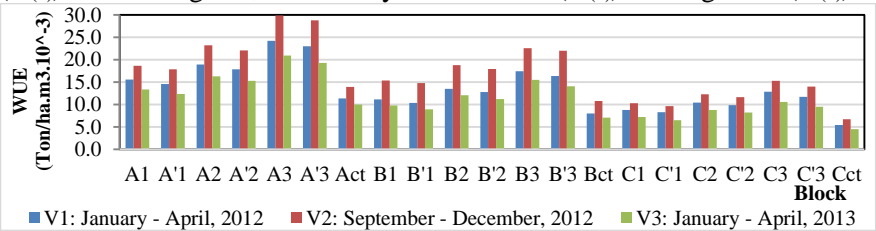


Figure 4.9: Water use efficiency of the whole season

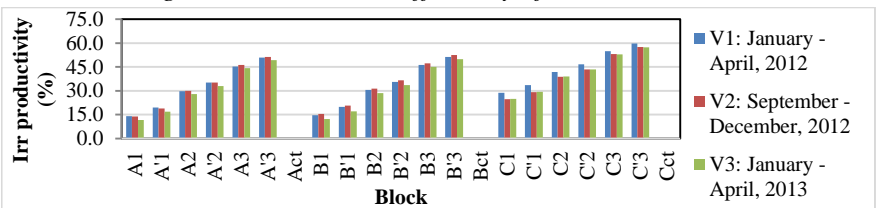


Figure 4.11: Irrigation productivity of the whole season



#### IV.4 EXPERIMENTAL DATA TEST, CORRELATION ANALYSIS AND LINEAR REGRESSION ESTABLISHMENT

Reliable tests of irrigation and crop development data (Cronbach's Alpha, EFA, One-Way ANOVA...) are statistically required for detailed assessing and analyzing.

The correlation analysis results of Pearson ( $r > 0,5$ ),  $R^2 > 0,5$ , test of F, t with Sig.= 0,0001 < 0,05 (reliability is 95%), VIF < 10, Eigenvalue > 1, which are satisfied for establishing linear regression equations, as followed:

(1)  $f(ET_o) = f(t, h, s, w, p)$  - (Meteorological regression)

Where:  $ET_o$ : Evaporation is dependent variable;  $t$ : temperature,  $h$ : air humidity,  $s$ : sunshine,  $w$ : wind and  $p$ : precipitation are independent variables

(2)  $f(I_m) = f(ET_o)$  - (Regression of irrigation water - Evaporation)

(3)  $f(Y_m) = f(Y_m)$  - (Regression of crop yield - irrigation water)

Table 4.8: Linear regression equations of factors

Order	Irr. frequency	Season	V1 (from January 1 <sup>st</sup> ÷ April 30 <sup>th</sup> )		V2 (from September 1 <sup>st</sup> ÷ December 30 <sup>th</sup> )	
		Linear regression equations	f (ET <sub>o</sub> ) = f (t, h, s, w, p)		f (ET <sub>o</sub> ) = f (t, h, s, w, p)	
			ET <sub>o(V1)</sub> = 0.112t - 0.415h + 0.308s + 0.587w - 0.049p		ET <sub>o(V2)</sub> = - 0.021t - 0.458h + 0.355s + 0.540w - 0.053p	
			f (I <sub>m</sub> ) = f (ET <sub>o</sub> )	f (Y <sub>m</sub> ) = f (I <sub>m</sub> )	f (I <sub>m</sub> ) = f (ET <sub>o</sub> )	f (Y <sub>m</sub> ) = f (I <sub>m</sub> )
1	2	m1 = 1.25	I <sub>1,25</sub> = 0.875*ET <sub>o1,25</sub>	Y <sub>1,25</sub> = 0.994* I <sub>1,25</sub>	I <sub>1,25</sub> = 0.952*ET <sub>o1,25</sub>	Y <sub>1,25</sub> = 0.997* I <sub>1,25</sub>
		m2 = 1.00	I <sub>1,00</sub> = 0.877*ET <sub>o1,00</sub>	Y <sub>1,00</sub> = 0.994* I <sub>1,00</sub>	I <sub>1,00</sub> = 0.951*ET <sub>o1,00</sub>	Y <sub>1,00</sub> = 0.997* I <sub>1,00</sub>
		m3 = 0.75	I <sub>0,75</sub> = 0.879*ET <sub>o0,75</sub>	Y <sub>0,75</sub> = 0.994* I <sub>0,75</sub>	I <sub>0,75</sub> = 0.951*ET <sub>o0,75</sub>	Y <sub>0,75</sub> = 0.997* I <sub>0,75</sub>
2	3	m1 = 1.25	I <sub>1,25</sub> = 0.855*ET <sub>o1,25</sub>	Y <sub>1,25</sub> = 0.993* I <sub>1,25</sub>	I <sub>1,25</sub> = 0.943*ET <sub>o1,25</sub>	Y <sub>1,25</sub> = 0.995* I <sub>1,25</sub>
		m2 = 1.00	I <sub>1,00</sub> = 0.855*ET <sub>o1,00</sub>	Y <sub>1,00</sub> = 0.993* I <sub>1,00</sub>	I <sub>1,00</sub> = 0.945*ET <sub>o1,00</sub>	Y <sub>1,00</sub> = 0.996* I <sub>1,00</sub>
		m3 = 0.75	I <sub>0,75</sub> = 0.854*ET <sub>o0,75</sub>	Y <sub>0,75</sub> = 0.993* I <sub>0,75</sub>	I <sub>0,75</sub> = 0.945*ET <sub>o0,75</sub>	Y <sub>0,75</sub> = 0.996* I <sub>0,75</sub>
3	4	m1 = 1.25	I <sub>1,25</sub> = 0.858*ET <sub>o1,25</sub>	Y <sub>1,25</sub> = 0.981* I <sub>1,25</sub>	I <sub>1,25</sub> = 0.921*ET <sub>o1,25</sub>	Y <sub>1,25</sub> = 0.997* I <sub>1,25</sub>
		m2 = 1.00	I <sub>1,00</sub> = 0.863*ET <sub>o1,00</sub>	Y <sub>1,00</sub> = 0.980* I <sub>1,00</sub>	I <sub>1,00</sub> = 0.919*ET <sub>o1,00</sub>	Y <sub>1,00</sub> = 0.997* I <sub>1,00</sub>
		m3 = 0.75	I <sub>0,75</sub> = 0.862*ET <sub>o0,75</sub>	Y <sub>0,75</sub> = 0.979* I <sub>0,75</sub>	I <sub>0,75</sub> = 0.920*ET <sub>o0,75</sub>	Y <sub>0,75</sub> = 0.998* I <sub>0,75</sub>

#### IV.5 THE DRIP IRRIGATION SCHEDULE FOR GRAPE LEAVES

- (1) Total time of canopy development and leaf harvest is about 4 months
- (2) Irrigation frequency is 2days; Apply drip irrigation level with less water ( $m = 0.75$ );
- (3) Drip irrigation amount ( $I_m$ ) is calculated from evaporation ( $ET_o$ ), daily effective precipitation ( $P$ ) and crop coefficient ( $K_c$ ) following each growing and developing stage of crops, or
- (4) Drip irrigation one ( $I_m$ ) is also calculated with 0.725 (litter/one tree per time) equally 3.745 ( $m^3$ /one hectare per time) in order to maintain moisture in the active root layer, avoid deep infiltration causing waste water.

Table 4.9: Crop coefficient Kc of drip irrigation for Grape leaves

Growing stage	Developing sprout	Developing tree			The 1 <sup>st</sup> time cut the top of the trellis	Developing tree directs down		The 2 <sup>nd</sup> time cut the top of the trellis	Developing tree directs down		
		Directs up the top of the trellis	Directs down								
Time	10-20/01	21-31/01	01-10/02	11-20/02	21-29/02	01-10/3	11-20/3	21-31/3	01-10/4	11-20/4	21-30/4
Kc	0,30	0,45	0,55	0,60	0,65	0,65	0,70	0,70	0,65	0,65	0,55
Irrigation water rate (mm)	8.929	12.137	14.712	14.712	13.241	14.712	14.712	16.183	14.712	14.712	12.505
Irrigation water rate (m <sup>3</sup> /ha)	11.365	15.450	18.727	18.727	16.854	18.727	18.727	20.599	18.727	18.727	15.918
Linear regression equations	$ET_{0,(v1)} = 0,112t - 0,415h + 0,308s + 0,587w - 0,049p$ $I_{0,75} = 0,879 * ET_{0,75}$ $Y_{0,75} = 0,994 * I_{0,75}$										
Time	10-20/9	21-30/9	01-10/10	11-20/10	21-31/10	01-10/11	11-20/11	21-30/11	01-10/12	11-20/12	21-30/12
Kc	0,25	0,30	0,45	0,55	0,60	0,60	0,65	0,65	0,60	0,60	0,55
Irrigation water rate (mm)	8.929	12.137	14.712	14.712	13.241	14.712	14.712	14.712	14.712	14.712	12.505
Irrigation water rate (m <sup>3</sup> /ha)	11.365	15.450	18.727	18.727	16.854	18.727	18.727	18.727	18.727	18.727	15.918
Linear regression equations	$ET_{0,(v1)} = 0,112t - 0,415h + 0,308s + 0,587w - 0,049p$ $I_{0,75} = 0,879 * ET_{0,75}$ $Y_{0,75} = 0,994 * I_{0,75}$										

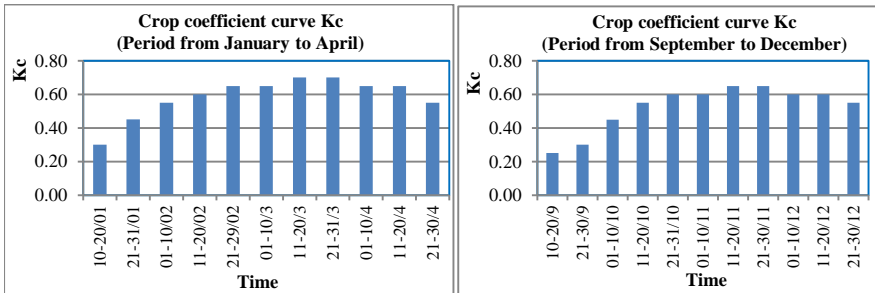


Figure 4.13: Crop coefficient curve Kc of drip irrigation for Grape leaves

## CONCLUSIONS AND RECOMMENDATIONS

### 1. CONCLUSIONS

The thesis has achieved new major results as follows :

➤ **As regards water spread in soil of drip irrigation technique (water infiltration)**

1.1) Investigated water infiltration spread in soil at 3 places: soil without cultivating, plants with water saving irrigation and in the laboratory, results as: vertical velocity (V<sub>z</sub>) and infiltration depth (Z) are bigger than horizontal velocity (V<sub>R</sub>) and average radius of wetting front on horizontal direction (R). The results were showed that **after irrigating in 40 ÷ 50 minutes, water spread completely covering the active root area (0 ÷**

**20cm deep**). The establishment of correlation and linear regressions of following variables: Z, R, W, V<sub>Z</sub>, V<sub>R</sub>, with satisfactory test results and high correlation coefficient, linear regression models were suitable and significant to infer the general in order to apply into production reality.

➤ **As regards establishment of the pF Retention curve (pF curve)**

1.2) Established the pF curve for cultivated soil of the water scarce region in the South Central part, in order to apply it in calculating the readily available soil water (RAW), the correlation is very close ( $R^2 > 0.9$ ).

(1.2.1) *Total available soil water (TAW) in comparison with water content is from 56.91% (layer 0÷10cm) to 64.64% (layer 50÷60cm);*

(1.2.2) *Total readily available soil water (TRAW) and the suitable minimum water content ( $\theta_p$ ) for popular dry crops at the water scarce region as follows: **Vine:** 10.35mm.  $\theta_p$ : 8.76%TT; **Dragon tree:** 17.75mm.  $\theta_p$ : 7.17%TT; **Apple:** 22.28mm.  $\theta_p$ : 6.93%TT; **Sugar-cane:** 19.22mm.  $\theta_p$ : 6.85%TT; **Vegetables:** 9.27mm.  $\theta_p$ : 8.31%TT; **Onion-Garlic:** 4.71mm.  $\theta_p$ : 9.6%TT. **Cultivated soil needs be irrigated to maintain moisture content from the suitable min water content ( $\theta_p$ ) to field capacity ( $\theta_{fc}$ ).***

➤ **As regards research on soil moisture dynamic**

1.3) Determined soil moisture dynamic at non-plant and plant places of the water scarce region in the South Central part. The results are showed:

(1.3.1) *At the KoTC: moisture increased in soil layers depth (Z), the layer (0÷5cm) had the smallest value, the layer (25÷30cm) had the biggest one;*

(1.3.2) *At the TKN: moisture in the layer (0÷10cm) decreased fast because roots absorbed water for plant development. Moisture in layer (20÷30cm) decreased the most slowly in comparison with above layers because of non-root, water mainly infiltrated deeply but not absorbent by roots. Thus, **from the layer (20 ÷ 30cm) to the bottom, irrigation water was less effective for Grape leaves, so it should be paid attention to limit the water to infiltrate deeply into this soil layer;***

(1.3.3) *Moisture at the TKN: **CK2:** moisture at the end of frequency was higher than  $\theta_p$ , crops were not deprived of water. **CK3 and CK4:** were supplied more water than CK2, therefore a lot of water infiltrated deeply, at the beginning and middle of the frequency, crops got enough water; but at the end of frequency, moisture decreased and was lower than  $\theta_p$ , it sometimes closed to wilting point ( $\theta_{wp}$ ), crops were short of water. For this reason, the CK2 for Grape leaves is suggested to develop well;*

(1.3.4) *At the CT: moisture decreased in the soil layer depth (Z) (because active roots were deep). Decreasing amount of this place was greater than the KoTC and TKN (because water mainly infiltrated deeply);*

(1.3.5) *In daytime moisture decreased greater than in the evening and at night; moisture in the afternoon decreased greater than in the morning. The greatest decreasing amount was from 9:0AM to 15:0PM. Therefore, farmers should irrigate in the morning for crops to absorb much water during the process of photosynthesis, metabolism and body heat balance;*

(1.3.6) *Established the correlation and linear regressions of variables: (a) Infiltration, (b) pF curve and water amount in soil, (c) pF curve and water content of each layer. Test results were satisfied and correlation coefficient was high, linear regression models were suitable and significant to infer the general.*

➤ **As regards research on simulation of soil moisture dynamic**

1.4) Applied the Coup Model for simulating moisture and heat transfer in the soil-plant-air system with the results approached field observations.

➤ **Proposed the suitable schedule of water saving irrigation (drip irrigation technique) for Grape leaves**

1.5) The thesis has showed as follows:

(1.5.1) *CK2 with less water level ( $m_{(3)}$ ) had the lowest excess water, the soil ensured the moisture absorption and well development of crops to achieve high productivity. Experimental blocks of: CK2 with  $m_{(1)}$  and  $m_{(2)}$ , CK3 and CK4 supplied water infiltrated over active root area to become waste; at the end of the irrigation frequency, moisture reduced and crops could not absorb enough water for developing well;*

(1.5.2) *Less water level ( $m_{(3)}$ ) saved a lot of water in comparison with two others irrigation levels ( $m_{(1)}$ ) and ( $m_{(2)}$ );*

(1.5.3) *The blocks with drip and extra sprinkler system had higher water use efficiency than the pure drip irrigation blocks and control ones. The blocks of CK2 had higher water use efficiency than CK3 and CK4. The water use efficiency of blocks with less water level ( $m_{(3)}$ ) was the highest;*

(1.5.4) *Irrigation productivity which applied saving irrigation technique showed that: The order of productivity in each irrigation frequency also decreased from the low water level ( $m_{(3)}$ ) to the high water one ( $m_{(1)}$ );*

(1.5.5) *The trees' development in the drip and extra sprinkler blocks was faster and better, early and more productive harvest, concentrating and homogenizing than the pure drip irrigation blocks and control ones;*

(1.5.6) *Profit of the drip and extra sprinkler blocks was higher than the pure drip irrigation blocks and control ones. Blocks of CK2 > CK3 > CK4;*

(1.5.7) *Established the correlation and linear regressions of variables: Meteorology – Crop water requirement - Crop yields from the field experiments with satisfactory test results, high correlation coefficient, linear regression models is suitable and significant to infer the general;*

(1.5.8) *Proposed the suitable schedule of water saving irrigation (drip irrigation technique) for Grape leaves in the water scarce region in the South Central part of Vietnam, as follows:*

- (1) *Total time of canopy development and leaf harvest is about 4 months;*
- (2) *Irrigation frequency is 2days; Apply drip irrigation level with less water ( $m = 0.75$ );*
- (3) *Drip irrigation amount ( $I_m$ ) is calculated from evaporation ( $E_{To}$ ), daily effective precipitation ( $P$ ) and crop coefficient ( $K_c$ ) following each growing and developing stage of crops, or*
- (4) *Drip irrigation one ( $I_m$ ) is also calculated with 0.725 (litter/one tree per time) equally 3.745 ( $m^3$ /one hectare per time) to maintain moisture in the active root layer, avoid deep infiltration causing waste water.*

## **2. RECOMMENDATIONS**

- 2.1) Research on the pF Retention curve (pF curve) for the main types of land used in agricultural production, including the South Central part.
- 2.2) Need establish the supplemental pF curve of the soil layer from -60cm down to a depth of 85÷90% of the active roots for the perennial plants such as: cashew, coffee tree, cocoa-tree, mango, custard-apple..., to calculate TRAW and determine the suitable irrigation schedule;
- 2.3) At the scarce region (droughty one) of the South Central part with severe weather conditions, to reduce water loss by deep infiltration, the farmers should increase clay or humus, colloid for the soil, and concurrently apply the short-term irrigation frequency to maintain moisture content, ensuring that crops can absorb enough water and grow well;
- 2.4) Using the drip irrigation technique, to enhance water use efficiency at the similar condition region and crop characteristics like Grape leaves, for water to infiltrate over the active root layer, the soil only needs be irrigated from 40÷50minutes for the depth (0÷20cm), or from 90÷100minutes for the depth (0÷30cm), or from 180÷190minutes for the depth (0÷40cm), then stop watering to avoid waste water of deep infiltration, concurrently apply the irrigation schedule CK2 for the moisture in the suitable range ( $\theta_p \div \theta_{fc}$ );
- 2.5) More study on infiltration of ununiform soil layers, unequal terrain, water-table changing and effecting to plants for effective application in practical production;
- 2.6) Study on short time forecast of the meteorological elements for irrigation water calculation and effective determination of climate to the crop development.

## THE AUTHOR'S PUBLICATIONS

### I. International articles

- [1] Tran Thai Hung, Xing Wengang, Zhang Juan. (2007). *The Technique of Economic Irrigation*. The International Journal of Effective utilization or Agricultural soil & water resources and protection of environment, China. pp 160 ÷ 164.
- [2] Tran Thai Hung, Xing Wengang, Hoang Cam Chau. (2008). *Research on suitable drip irrigation schedule for tomato*. Center for Science and Technology Development, Ministry of Education, China.
- [3] Tran Thai Hung, Xing Wengang. (2009). *Research on infiltration flow and soil moisture dynamics according to soil depth for drip irrigation technique*. Center for Science and Technology Development, Ministry of Education, China.
- [4] Tran Thai Hung, Vo Khac Tri, Le Sam. (2016). *Research on Infiltration Spread in Soil of Drip Irrigation Technique for Grape Leaves at the Water Scarce Region of Vietnam*. International Journal of Agricultural Science and Technology (IJAST). DESTech Publications, Inc. USA. Vol 4, No. 2 – August 2016, pp. 45 ÷ 54.

### II. Domestic articles

- [5] Tran Thai Hung. (2009). *Research on infiltration flow and soil moisture dynamics according to soil depth for drip irrigation technique*. Journal of Water Resource Research 2009. Agricultural press. Vietnamese. No. 11, pp. 185 ÷ 197.
- [6] Tran Thai Hung, Nguyen Van Lan, Le Sam. (2014). *Research on potential assessment and propose solutions of sustainable and suitable utilization and exploitation to water resources for rural development in the Central coastal region of Vietnam*. Journal of Water Resources Science and Technology. Vietnamese. No. 21, pp. 32 ÷ 40.
- [7] Tran Thai Hung, Vo Khac Tri, Le Sam. (2014). *Research on solution proposal of science and technology of irrigation basic infrastructure for development of export grape leaves at Binh Thuan province*. Journal of Agriculture and Rural Development (Special subject of Environment protection for Agriculture and Rural Development. Vietnamese. pp 11 ÷ 19.
- [8] Tran Thai Hung, Vo Khac Tri, Le Sam. (2015). *Research on infiltration spread in soil of drip irrigation technique for Grape leaves at the water scarce region*. Vietnam Science and Technology Review. Vietnamese. Vol 3, No. 11, pp. 8 ÷ 12.
- [9] Tran Thai Hung, Vo Khac Tri, Le Sam. (2016). *Experimental research on suitable irrigation schedule for grape leaves with the drip irrigation technique at the water scarce region*. Journal of Water Resources & Environmental Engineering. Vietnamese. No. 55, pp. 73 ÷ 82.
- [10] Tran Thai Hung, Vo Khac Tri, Le Sam. (2017). *Experimental research on establishment of the soil water retention curves (pf) in order to determine suitable irrigation schedule for dry crops at the droughty region of the South Central Vietnam*. Journal of Water Resources & Environmental Engineering. Vietnamese. No. 57, pp. 40 ÷ 49.
- [11] Tran Thai Hung. (2018). *Experimental study of soil moisture dynamic of the drip irrigation to determine the suitable irrigation schedule for grape leaves at the water scarce region (droughty region)*. Journal of Water Resources Science and Technology. Vietnamese. No. 42, pp. 65 ÷ 77.
- [12] Tran Thai Hung. (2018). *Experimental research on infiltration process in soil of drip irrigation technique for water saving irrigation for dry crops at the droughty region in the south central part of Vietnam*. Journal of Water Resources Science and Technology. Vietnamese. No. 47 (Publication was accepted in September 2018).

### GUIDING FOR RESEARCH AND TEACHING IN THE THESIS CONTENT

- 1) Co-guided two Swedish students of the Royal Institute of Technology (KTH) for field experiment research in 2012 and completing the university thesis in 2013:  
Students' name: (1) Sara Andersson; (2) Julia Cavell  
Thesis name: *Long-term water modelling of the Soil-Plant-Atmosphere System*  
- A study conducted for the growing of Grape Leaves with drip irrigation in Binh Thuan Province, Vietnam.
- 2) Taught 24 trainees at the Department of Agriculture and Rural Development of Binh Thuan province, November 2011 on the topic of: Effective and economical water utilization of irrigation for some crops.