

Ensayos sobre la translocación en plantas de fungicidas sistémicos.

I. GIMENEZ VERDU

Se han realizado una serie de ensayos biológicos con el fin de averiguar la sistemicidad de los fungicidas benomilo, triforina, y thiocur. Los productos fueron suministrados sobre Naranja amargo (*Citrus aurantium* L.), en tratamiento foliar y al terreno, y en suspensión acuosa o en suspensión acuosa con la adición de dos aceites minerales blancos de diversa viscosidad, 20° E y 268° E, por separado.

Con este fin se determinó la rapidez de absorción, acúmulo y persistencia de los compuestos, utilizándose porciones de hoja, así como anillos de corteza y sus correspondientes porciones de leño, de tallo y raíz. Dichas porciones eran dispuestas en placa con un medio de cultivo y sembrados con la cepa de un hongo sensible a dichos productos, siendo medidos periódicamente los eventuales halos de inhibición formados entorno a las porciones de órgano.

Como resultado se observó que en suspensión acuosa y tratamiento foliar, destacó la triforina por su acúmulo a 15 días del tratamiento, y el benomilo por su persistencia hasta pasados 65 días del tratamiento. Por el contrario, en suspensión acuosa pero tratamiento al terreno, destacó el thiocur por su acúmulo a 25 días del tratamiento, y en segundo lugar el benomilo por su acúmulo a 15 días, mostrando ambos fungicidas buena persistencia.

Cuando los productos fueron aplicados en tratamiento foliar con la adición de los aceites, se observó que el de menor densidad (20° E), aumentó el depósito del benomilo, obteniéndose un máximo a 15 días del tratamiento, así como del thiocur, el cual presentó un máximo a 35 días. Asimismo, el aceite de mayor viscosidad (268° E) confirmó el Thiocur buen acúmulo, el cual presentó un máximo a 20 días del tratamiento.

En general se puede decir, que el aceite de menor viscosidad aumentó el acúmulo del benomilo y la persistencia del thiocur. Inversamente la triforina resultó más sistémica suministrada sin aceites.

I. GIMENEZ VERDU, Departamento de Biología Vegetal I. Fac. Biológicas Universidad Complutense, Madrid

Palabras clave: Translocación, fungicidas sistémicos, *Citrus aurantium* L.

INTRODUCCION

Nociones sobre la absorción y transporte de nutrientes:

En las plantas, el agua es absorbida del suelo por las raíces y eliminada por transpiración por las hojas. La resistencia a la pérdida es inversamente proporcional a la can-

tidad de agua que existe en el medio, así el protoplasma coloidal, la celulosa, etc., la retienen por imbibición, igual que los coloides del suelo.

Por otro lado, la cutícula de las hojas es impermeable, pero las células del mesófilo lagunar tienen una membrana celulósica delgada, y además presentan una gran

superficie de contacto con el espacio intercelular. Dichas membranas están saturadas por el agua de las células que envuelven, por lo que ésta fácilmente pasa a través suyo saturando el espacio intercelular, y de éste por difusión pasa a la atmósfera a través de los estomas. Cuando en dicho proceso el calor de los rayos solares incide sobre las hojas, se produce esta salida de agua en forma de vapor, tanto a través de las membranas celulósicas como de los estomas.

La absorción del agua por las raíces es activa o pasiva. La pasiva se debe a la transpiración, si ésta es alta la mayor parte de la absorción es pasiva. La absorción activa se debe a las propiedades osmóticas de las células radiculares y posiblemente sólo es responsable de una pequeña fracción de la absorción. En relación a esto cabe recordar, que las raíces presentan una gran superficie de intercambio en constante renovación, gracias a su crecimiento en longitud. Además, sus finas membranas y su revestimiento protoplásmico son susceptibles a la penetración del agua, cuando actúa alguna fuerza que tienda a arrastrarla hacia el interior.

En cuanto al fenómeno de succión, las células como todo cuerpo higroscópico, poseen una presión de succión que varía según su naturaleza y las condiciones en que se hallan. De este modo, entre dos células en contacto con diversa concentración, se establecerá una presión de succión que hará pasar por difusión moléculas de igual al medio más concentrado, ya que la presión de difusión de ésta será menor, es decir, las sustancias en disolución rebajan dicha presión. En definitiva, la presión de succión es igual al déficit de la presión de difusión. Por otro lado, si consideramos que ósmosis es la difusión a través de membranas y presión osmótica es la diferencia de presión de difusión entre dos medios, podemos deducir pues, que la presión de succión es igual a la osmótica

menos la presión de membrana (debida a la elasticidad de ésta).

Asimismo, las células radicales y las otras células vivas, tienen en las vacuolas una solución compuesta de varias sustancias osmóticamente activas, de las que las más importantes suelen ser los azúcares. El revestimiento citoplásmico es semipermeable para muchas de estas sustancias, por lo que se desarrolla una presión osmótica siempre que las células se ponen en contacto con agua u otras soluciones.

Cuando las células han tomado el máximo de agua que pueden, se dice que están turgentes, ejerciendo su contenido una presión osmótica sobre la membrana celular. Los cambios de turgencia causan con frecuencia cambios de tamaño, que pueden dar lugar a movimientos en los órganos de la planta, así la pérdida de turgencia en los estomas produce su cierre e inversamente.

Existe una presión de raíz cuando ésta está turgente que hace pasar el agua del suelo hasta los vasos, pero sólo hasta cierta altura de éstos, no es suficiente para que llegue a las partes altas del árbol. No obstante, da lugar a fenómenos de gutación a través de los hidatodos. El resto de la subida se verifica gracias a la transpiración foliar.

Cuando el agua se evapora en la transpiración las células del mesófilo dejan de estar saturadas, por lo que absorben agua del protoplasma adyacente el cual lo toma a su vez de la vacuola adyacente y de las células próximas. El movimiento así originado se transmite hasta los vasos conductores del xilema y debido a la tensión del agua que los llena, las columnas líquidas son aspiradas desde la raíz, a pesar de que a esta levación se opone el propio peso de la columna o presión hidrostática, así como la presión de succión del suelo. De esta forma, el agua y los solutos suben por el tallo a través del xilema, que está constituido por traqueas y traqueidas. Las membranas de las traqueidas están atravesadas por un gran número de

orificios solamente tapados por una lámina media fácilmente penetrable.

Una teoría conocida sobre la raíz la compara con un osmómetro, en el que el recipiente externo sería como el espacio de difusión libre (apoplasto) hasta la endodermis; ésta a su vez equivaldría a la barrera semipermeable, y la parte interna a la endodermis, la estela, a la solución interna del osmómetro.

Debemos recordar, que la absorción se realiza individualmente en forma iones, raramente de sal. De igual modo, no todos los elementos que hay en el suelo, están disponibles para la planta, sino sólo los que se encuentran en forma soluble o asequibles por intercambio iónico con las micelas del suelo. Este intercambio es preferiblemente catiónico, dado el predominio de cargas negativas superficiales existentes en las micelas inorgánicas (arcillas) y orgánicas (humus) del suelo.

La interfase suelo-planta constituye la zona de absorción del agua y de las sales minerales. Envuelve la epidermis y los pelos radiculares de la raíz. En dicha fase existe un mucigel que constituye una capa mucilaginoso en toda su extensión, separando la raíz del suelo. Dicha capa desempeña un importante papel en la absorción. En su composición predominan los hidratos de carbono. Este mucigel y los exudados solubles que origina la raíz, constituyen el substrato para los microorganismos de la rizosfera. A su vez la presencia de éstos facilita la formación del mucigel.

Entre las funciones de este mucigel se cuenta la de constituir un nicho protegido para la rápida multiplicación de las bacterias, para la acumulación de exudados solubles de las raíces, así como para participar en la transferencia de nutrientes a las raíces, ya que las cargas negativas de esta capa intervienen en el intercambio iónico directo entre las micelas del suelo y las raíces.

En la absorción se pueden considerar 2 etapas: la primera es rápida y los iones

absorbidos no presentan carácter acumulativo y su difusión es reversible. La segunda fase por el contrario, es lenta, actúa generalmente contragradiente y en sentido irreversible. Este comportamiento hace pensar, que en la absorción participan distintos compartimientos celulares, y que interviene el metabolismo energético celular en el segundo tipo de mecanismos, ya que éstos requieren vencer la presencia de una barrera de difusión o membrana semipermeable. Así pues, existe un transporte pasivo, un transporte activo y un transporte facilitado.

El transporte pasivo ocurre por difusión libre de los iones a favor de gradiente. Se trata, pues, de un mecanismo puramente físico y espontáneo. El activo es un mecanismo de difusión contragradiente de concentraciones, pero por las características de la sustancia y de la membrana, el ión o soluto debe unirse a una sustancia intermedia (transportador) para poder atravesarla.

Por otra parte, igual que ocurre en la economía hídrica de la planta, también en la nutrición mineral hay que distinguir entre el apoplasto o apoplasto y el simplasto o simplasma. El apoplasto comprende la zona de difusión libre (espacio libre) y está constituido fundamentalmente por las paredes celulares, los espacios intercelulares y el lumen del xilema. Forma un sistema continuo sólo interrumpido a la altura de la endodermis, debido a la presencia de los engrosamientos de la banda de Caspary en las paredes radiales de la endodermis. En el apoplasto no hay, pues, barreras de permeabilidad, siguiendo el movimiento de nutrientes las leyes de la difusión simple. El simplasto por el contrario requiere que los solutos atraviesen la barrera semipermeable, o selectivamente semipermeable, del plasmalema. Una vez atravesado el plasmalema, en el seno del citoplasma el simplasto forma un sistema unitario y continuo que se intercomunica célula a célula por los plasmodemos a través de los des-

motúbulos o conexiones del retículo endoplásmico.

Recordemos que la absorción activa del agua por la raíz es en realidad una absorción osmótica, gracias a la absorción activa de iones en la endodermis. Una tercera vía incluye el transporte de iones del citoplasma a la vacuola y de vacuola a vacuola, pero parece ser menos significativa.

En resumen, la planta capta los elementos minerales a partir del suelo por la absorción radicular. En el mecanismo de absorción intervienen tanto procesos físico-químicos puramente pasivos, como procesos contra-gradiente del potencial electroquímico que requieren de energía externa (absorción activa). En la raíz los iones pueden seguir la vía del apoplasto hasta la endodermis, en donde penetran activamente hacia el simplasto o simplasma, o bien en la misma epidermis o en los pelos radiculares, son absorbidos y transportados célula a célula, por medio de los plasmodesmos en el sistema simplasma. Una vez en la estela, los iones son cedidos o secretados desde el simplasto al apoplasto ingresando así en la vía del xilema, donde son arrastrados pasivamente por la corriente de transpiración a lo largo de toda la planta.

En cuanto a metales pesados, el hecho de que numerosas plantas puedan crecer en suelos que contienen concentraciones elevadas de ciertos iones metálicos, indica que deben estar de alguna forma adaptadas a estas condiciones particulares. Las plantas pueden evitar los efectos tóxicos del medio, colonizando las áreas donde la concentración metálica sea menor dentro del área contaminada, o sirviéndose de mecanismos de exclusión o absorción selectiva. A pesar de todo, cuando se analizan los tejidos de algunas plantas, se observa que presentan concentraciones elevadas de Zn, Pb, Ni, Cr, Cu, Co. A estas plantas se las considera tolerantes a los metales pesados, incluso algunas de ellas les acumulan, por ejemplo,

varias especies del género *Astragalus*, acumulan Se.

La tolerancia está genéticamente determinada y parece ser una característica dominante y poligénica. La tolerancia a metales suele ser muy específica, así las plantas que son tolerantes a un determinado ión no suelen serlo a otros, aunque tengan unas características físico-químicas similares, si no están en los suelos en que normalmente crecen. La tolerancia múltiple aparece cuando varios iones están presentes en el mismo suelo; así hay clones de *Agrostis stolonifera* que son tolerantes al Mg y al Ni; también son frecuentes casos de tolerancia simultánea al Zn y al Ni.

No se conoce aún con exactitud el mecanismo por el que las plantas tolerantes resisten los efectos tóxicos. En el caso de la resistencia al Zn, se ha observado que las plantas tolerantes acumulan el metal en las paredes celulares, y éste puede ser el mecanismo por el que la planta evita la presencia de concentraciones tóxicas de este elemento en el interior de la célula. Una hipótesis prometedora es la que supone que las plantas sintetizan agentes quelantes, capaces de formar complejos con metales pesados transformándolos así en inoocuos.

Las razas tolerantes tienden a ser excluidas de los suelos normales por las no tolerantes, ya que éstas son más vigorosas y con una tasa mayor de crecimiento. A pesar de esto, las tolerantes son de gran utilidad en la recuperación de suelos desertizados por la explotación minera.

Nociones sobre la absorción y transporte de los productos por la planta:

La translocación en general de los productos en las plantas ha sido estudiada por muchos autores entre los que figuran PEEL, 1974; RICHARDSON, 1975, e igualmente ha sido estudiada detalladamente en aspectos concretos por ESCHRICH (1970), entre otros. En cuanto a fungicidas sistémicos,

son conocidos los estudios de ERWIN (1973).

Fundamentalmente, en el transporte de un compuesto en el interior de la planta se consideran 3 etapas:

- a) Entrada en el espacio libre o intercelular de los tejidos.
- b) Desplazamiento en el apoplasto.
- c) Circulación en el simplasto.

a) *Entrada en el espacio intercelular:*

Sabemos que la función principal de la cutícula es controlar la pérdida de agua de las partes aéreas de la planta. El agua y los solutos entran a través de esta barrera inicial por las raíces o por la parte aérea de las plantas, atravesando a continuación el espacio libre, que es la zona de los tejidos en libre comunicación por difusión con el medio ambiente externo. A su vez, el protoplasma celular se comunica mediante las paredes celulares con el medio por libre difusión.

La solución que atraviesa la cutícula puede incluir una variedad de sustancias químicas orgánicas extrañas, como son insecticidas, herbicidas y fungicidas, así como de productos naturales tales como azúcares, alcoholes y numerosos ácidos entre los que se incluyen aminoácidos. La solubilidad en agua parece ser el único requerimiento absoluto para este paso.

Se ha estudiado la difusión de fungicidas sistémicos a través de trozos de cutícula, y parece ser que la cantidad transferida varía con los diversos productos, por ej.: el 87% de metil-tiofanato atraviesa la cutícula, en cambio de Dodine sólo una traza (SOLEL y EDINGTON, 1973; EDINGTON *et al.*, 1973).

En el caso de absorción radical, que es la vía común de entrada de nutrientes y otros solutos en la planta, hay que tener en cuenta que aunque las superficies de absorción de las raíces están cubiertas de una capa protectora similar a la cutícula, dicha capa segrega especialmente suberina que llega a

impermeabilizarlas totalmente al agua (MARTIN Y JUNIPER, 1970). Así la superficie de las viejas raíces está suberificada, por lo que a través de las jóvenes se realiza principalmente la absorción de agua y solutos, ya que ofrecen pequeña resistencia a su paso hacia el xilema. No obstante, debemos recordar que las zonas principales de absorción se limitan a un pequeño sector de la porción terminal de la raíz, no obstante aquellas zonas en las que se insertan los pelos radicales, los cuales crecen fuera de las células epidérmicas, y debido a éstos, representan un importante volumen.

Por último las zonas cubiertas de corteza, constituida, como sabemos, por capas multicelulares suberificadas, no constituyen zonas de absorción a considerar.

En cuanto a la entrada en el espacio libre, que como decíamos se realiza por difusión, en el caso de raíces de plantas transpirantes puede estar ayudada por un flujo de masa. A esta fase continúa una lenta y prolongada acumulación. En realidad el proceso se puede considerar en 3 etapas: entrada por libre difusión, traslado mediante procesos físicos de la fase acuosa de dicho espacio y la tercera que implica una traslocación metabólicamente activa.

La presencia de materiales extraños en el espacio libre, ha sido demostrada utilizando compuestos con metales nobles, uranil-acetato, lantano (THOMSON *et al.*, 1973), etc., que permiten obtener depósitos que pueden ser examinados al microscopio electrónico.

La traslocación física de materiales a partir de la fase acuosa del espacio libre, posiblemente la lleven a cabo iones inmóviles o fases lipoides existentes en las paredes celulares o en el protoplasma, y esto permite que dicho material esté en equilibrio con la fase acuosa del espacio libre, y que pueda volver a él si se dan las condiciones apropiadas, en cambio la estancia prolongada en la vacuola celular como está bajo

control metabólico, es generalmente un proceso irreversible.

El proceso que siguen los productos en el espacio libre de las hojas parece ser muy similar, tanto si entraron a través de la cutícula como si proceden de las raíces por la corriente de transpiración. En éstas se verifica un lavado del material que constituye una pérdida por difusión (CROWDY y TANTON, 1970), pero que hace posible un reciclaje y redistribución de los productos aplicados a la raíz.

Es sabido, que en un proceso de difusión, la tasa de entrada es directamente proporcional a la constante de permeabilidad, al área de difusión y al gradiente de concentración. No obstante, la cantidad de sustancia que entre aumentará con el tiempo hasta que la concentración interior y exterior sea igual. En el caso de la hoja, el factor limitante será la sequedad de su superficie, por tanto, mientras en un tratamiento foliar quede suspensión de producto en la superficie, continuará su difusión. Un paliativo consistiría en el uso de sustancias humectantes, pero sólo interesa en un medio ambiente seco. En cuanto a la permeabilidad de la cutícula, ésta varía con las condiciones externas, y en cuanto al gradiente de concentración, éste depende de la formulación del producto, ya que ésta determina su solubilidad en agua, etc.

Un razonamiento similar se puede aplicar a la raíz, pero en este caso el proceso viene influenciado por la corriente de transpiración. La mayoría de las concentraciones que entran son diluidas y no son concentradas por la evaporación; la corriente de transpiración previene la acumulación de soluto en el espacio libre, aunque el material puede ser translocado por efecto de la corriente de transpiración pasivamente o activamente, y acumulado en las raíces vivas o muertas. El material así acumulado, puede ser liberado cuando el agua es sustituida por una solución de tratamiento, es

decir que es posible que en circunstancias favorables la raíz procure el almacenamiento de un producto (CROWDY y TANTON, 1970).

b) *El desplazamiento en el apoplasto* ocurre en las partes muertas de la célula, fuera del protoplasma y dentro del lumen de los vasos muertos y de las traqueidas del xilema, donde los trayectos son más pronunciados. Sabemos que los vasos leñosos están formados por células muertas y sus paredes están lignificadas, formando dicha lignificación arcos, espiral, etc. El movimiento en el apoplasto es pasivo, por lo que no requiere consumo de energía.

Las paredes celulares constituyen un sistema de conducción acuoso exterior al protoplasma vivo, que comunica con el medio ambiente por libre difusión. Dentro de este sistema y en gran parte, el movimiento es un flujo desde las raíces hasta las hojas en la corriente de transpiración, vía los vasos xilemáticos. Este movimiento pasivo depende de la diferencia de potencial del agua entre el medio ambiente radical y el medio ambiente foliar. Como no están implicados en dicho sistema procesos vivos, puede transportar sustancias nocivas (KURTZMANN, 1966) a pesar del daño que puedan causar especialmente a los tejidos cercanos.

Después de atravesar el protoplasma, la solución pasa a las paredes celulares en el cilindro vascular y se transloca por el interior de los vasos xilemáticos a través de las partes no lignificadas de sus paredes. Sabemos que los vasos se comunican por sus punteaduras (TANTON y CROWDY, 1972 a). Al parecer el protoplasto de la endodermis constituye la mayor barrera al movimiento de los compuestos en la corriente de la transpiración. Estudios sobre la función de la endodermis se deben a CLARKSON (1974).

Además del efecto filtrante de la endo-

dermis, en el sistema radical la retención está relacionada con la habilidad de formar solventes no polares. SHONE y WOOD (1974), llegaron a verificar éstas conclusiones con fungicidas como etirimol y algunos herbicidas. SHEPHARD (1973) hizo referencia al acúmulo de fungicidas sistémicos en raíz, indicando cierta penetración de membranas, existiendo un diferente comportamiento entre las especies. Asimismo, encontró marcadas diferencias entre los fungicidas en su movimiento a través del xilema y liberación en las venas foliares, lo que puede ser relacionado con la actividad de los productos, como por ejemplo los fungicidas sistémicos.

Una vez dentro del xilema parece que se produce una cierta retención de sustancias neutras y ácidas, en cambio las sustancias básicas son absorbidas por cargas negativas sobre las paredes, siendo parte de esta absorción pasiva. Dicho efecto ha sido observado entre otras sustancias para compuestos de amonio cuaternario (SALERNO y EDINGTON, 1963).

Los vasos xilemáticos transportan la corriente de transpiración a las hojas. En las paredes celulares la corriente de transpiración atraviesa la cutícula, y los solutos son depositados en la interfase aire-líquido donde se produce la evaporación (TANTON y CROWDY, 1972 b). Si el tratamiento radical es continuado durante largo tiempo o si es continuado por agua, los solutos son lavados en los márgenes foliares. No obstante estos depósitos de producto pueden ocasionar necrosis u otros síntomas fitotóxicos, como se ha observado con benomilo y otros compuestos.

El apoplasto puede también ser alcanzado por inyección directa en el tronco de los árboles. Por ejemplo, la inyección de carbendazima y benomilo ha sido usada con eficacia en el control de la "grafiosis" del olmo (ALFEN y WALTON, 1974), asimismo, se ha observado eficaz la inyección de tiabendazol

y carbendazima en el control de *Venturia pirina* en peras. No obstante, parece ser, que la mejor distribución de las inyecciones se obtiene en otoño (SHABI *et al.*, 1974).

La magnitud con que un fungicida distribuido en el apoplasto puede acumularse en un órgano de una planta, podría ser relacionada con la pérdida de agua de transpiración del mismo órgano, lo que a su vez está relacionado con la frecuencia de estomas. PETERSON y EDINGTON (1971) observaron que el benomilo no se acumula o lo hace en muy pequeña cantidad en tomates, pétalos de geranio, brácteas de ponsetia, etc., donde no hay estomas o no funcionan. Es decir que en esta vía, si se quiere que la hoja permanezca protegida, es necesario un tratamiento radical continuado.

c) *Circulación en el simplasto*: Se realiza dentro de las partes vivas celulares, es activa y requiere un consumo de energía metabólica. Este transporte se lleva a cabo en el floema e implica largos trayectos, probablemente en células especializadas, los vasos cribosos.

El simplasto y el apoplasto están relacionados a pesar de estar separados por el plasma- lema, la membrana que rodea el protoplasto.

Los compuestos químicos que han alcanzado la hoja en el apoplasto no pueden ser redistribuidos en la planta en el mismo sistema, excepto en condiciones que raramente ocurren. El movimiento desde las hojas al interior de la planta ocurre en el simplasto, y la energía que requiere es necesaria tanto para transferir el material desde el espacio libre al interior de las partes vivas de la célula, como para translocarlo a lo largo de esta vía.

El movimiento del apoplasto al simplasto, parece estar asociado con células transferentes especializadas cuyas emisiones protoplásmicas conectan ambas vías. De esta forma, el protoplasma vivo forma una trama continuada a través de todo el organismo, de ahí el término de simplasto. Estas

conexiones entre células adyacentes, se realiza a través de poros denominados plasmodesmata. CLARKSON (1974), realizó una revisión del simplasto. La vía simplástica se continúa con el floema, el tejido vascular en que se dan los transportes de larga distancia, y está constituido por células alargadas, vivas y huecas, cuyos tabiques de separación están perforados constituyendo las placas cribosas. Las células que las acompañan son de estructura interna normal, con protoplasma denso, y se comunican con los vasos cribosos mediante los plasmodesmata.

La principal función del floema es transportar materiales, especialmente carbohidratos, de los órganos que los tiene en abundancia a los que los necesitan.

Los materiales son activamente acumulados en los vasos cribosos del simplasto contra un gradiente de concentración que los transporta, necesitando a su vez esto una energía metabólica. Al interior del floema llega el estilete de los áfidos, ya que sus tubos son ricos en material cuando es alta la actividad fotosintética. Análisis realizados con el material recogido de dicho estilete, han mostrado la presencia de diversas sustancias químicas como herbicidas, insecticidas, lo que indica que también pueden ser transportadas, en el floema. No obstante, hay que tener en cuenta que esta vía tiene funciones de distribución y transporte, lo que implica una capacidad de intercambio con las células vecinas y esto dificulta definir el transporte en este sistema.

Sabemos que las hojas jóvenes importan carbohidratos y las maduras los exportan y que el movimiento en el floema es rápido y se piensa que son 2 los mecanismos que en él intervienen: flujo de masa, que actúa mejor sobre tubos y poros vacíos, y otro tipo de mecanismos que requieren tubos cribosos especializados, etc.

En general, se considera que existe una alta concentración de carbohidratos solubles

en las hojas y demás fuentes y baja en zonas profundas donde el metabolismo es activo, o en órganos de reserva donde los carbohidratos solubles son separados del sistema por medios metabólicos, o por conversión en formas insolubles. Este gradiente de concentración tiende a producir un flujo de solución desde las partes inferiores que podría accidentalmente transportar otros solutos que estuvieran presentes en el floema. Este gradiente de concentración tiende a producir un flujo de masa de solución, desde la fuente a la base, y que podría llevar otros solutos presentes en el floema. Asimismo, parece ser que la relación entre las fuentes y las partes profundas de la planta está sometida en alguna medida a un control hormonal.

En definitiva, el transporte simplástico y apoplástico son anatómicamente y fisiológicamente distintos en la planta. El movimiento simplástico va de la fuente a la base y puede ser suprimido inhibiendo la actividad metabólica en la fuente o inmovilizando el floema, mientras que el apoplástico es pasivo, dependiendo de la corriente acuosa y dirigiéndose adonde el agua se pierde por evaporación o es requerida para crecimiento, etc. No obstante, en determinadas circunstancias, los solutos se pueden distribuir en el interior de la planta por vía apoplástica, pareciendo un movimiento simplástico. Este movimiento centrípeto se produce en el apoplasto cuando esta vía es sometida a presión atmosférica por corte, quemadura o daño químico.

Aunque al movimiento simplástico concierne principalmente a la distribución de los compuestos químicos fisiológicamente importantes para la planta, también puede transportar los que son extraños a la planta. No obstante, el transporte de estos últimos es más restringido que en la vía apoplástica, ya que es necesaria una transferencia activa del apoplasto al simplasto en la que posiblemente intervengan mecanismos especializados de transporte. No obstante, se ha observado la translocación en el simplasto de insecticidas,

herbicidas, etc. Por ejemplo, del 2,4-D. Dalapon, entre otros muchos compuestos. (CRAFTS y CRISP, 1971). No obstante, aunque se transloquen con los nutrientes, presentan diferencias en la distribución, etc. Así, el 2,4-D tiende a absorberse durante el pasaje a través de la planta, mientras que, por ejemplo, el Dalapon, presenta mayor libertad de movimiento. Así también este último, además de translocarse de las hojas a las raíces, podría ser liberado por éstas en su entorno.

Translocación de fungicidas sistémicos

Estos productos cuando se suministran a la planta por vía foliar o radicular, se translocan generalmente en sentido ascendente a través del xilema con la corriente de transpiración, y pueden acumularse en los bordes de las hojas. Contrariamente, raras veces se translocan en sentido descendente a través del floema, así como no lo hacen a nuevas zonas de crecimiento. Algunos de ellos se translocan sistémicamente en especial en plantas herbáceas, pero la mayoría son sólo sistémicos localmente, particularmente en las hojas pulverizadas.

Se consideran particularmente eficaces en el tratamiento de semillas, como humectantes de raíces, en aspersiones al terreno o inyectados al tronco de los árboles.

El movimiento de éstos productos en el interior de la planta es mucho menos conocida que la relativa a herbicidas e insecticidas. Además suele ocurrir que la única evidencia de que un producto se ha translocado, se tiene porque ha controlado una enfermedad o porque se ha efectuado un bioensayo no específico, todo lo cual hace dudar de la identidad del producto, ya que debía haber sido extraído de la planta tratada y caracterizado. Así esto se ha hecho con algunos antibióticos puros como griseofulvin y cloramfenicol (CROWDY *et al.*, 1955), extraídos de *Vicia faba* después de serles suministrados por tratamiento a la raíz; la identificación se llevó a cabo considerando su punto de fusión

y espectro IR. En general, la identidad de los productos translocados se realiza comparando su migración en cromatogramas con la de productos puros standard.

En algunos casos tales como el del benomilo y metiltiofanato, el que sean la causa del control de una enfermedad se justifica al encontrar translocado uno de sus metabolitos e identificarlo por cromatografía, y en el caso de tratarse de algún antibiótico se efectúa un bioensayo con la bacteria que lo requiere para su crecimiento (ERWIN, 1973).

Muchos productos como decíamos, han mostrado un movimiento típicamente apoplástico, incluyéndose entre éstos una variedad de antibióticos como la griseofulvina y streptomina. Asimismo, siguen este movimiento la cicloeximida y algunos de sus derivados, e igualmente una variada selección de productos químicos de síntesis.

Los fungicidas raramente han mostrado movimiento en el simplasto, aunque pudiera ser debido a la dilución de un producto no muy activo, o al grado de conocimiento sobre esta vía. Además para que un compuesto siga la vía simplástica, debe atravesar el plasmalema y penetrar el protoplasma. En relación a esto, existe cierta evidencia sobre algunos compuestos lipofílicos (SHONE *et al.*, 1974).

Muchos fungicidas sistémicos parecen ser asimismo translocados en el apoplasto, así lo observaron PETERSON y EDINGTON (1970, 1971) con benomilo y su metabolito activo carbendazima, el éter metílico del ácido 2-bencimidazolcarbámico (CLEMON y SISLER, 1969) en *Phaseolus vulgaris*.

Otras plantas en las que se ha observado el paso del benomilo por esta vía son la remolacha, *Beta vulgaris* (SOLEL 1970 b), tomatera, *Lycopersicon sculentum*, pepino, *Cucumis sativus* y sandía, *Citrullus laratus* (THANASSOULOPOULOS *et al.*, 1970), semillas de manzano, *Malus pumila* y cerezo, *Prunus cerasus* (GILPATRICK, 1969) y algo-

dón, *Gossypium* sp. (ERWIN *et al.*, 1968 a). Igual traslocación se ha comprobado con metil-tiofanato en remolacha (SOLEL, 1970 a), ya que al tener también como metabolito carbendazima (SELLING *et al.*, 1970), su comportamiento parece similar al del benomilo en muchos aspectos. STARON *et al.* (1966) demostraron la actividad sistémica del tiabendazol por vía apoplástica, así como ERWIN *et al.* (1968 b) en algodón, SOLEL (1970 a) en remolacha, y GRAY y SINCLAIR (1971) en soja, *Glicine max*; en soja y algodón parece que se transloca sin transformarse, tendiendo a permanecer en la base de la planta (GRAY y SINCLAIR, 1971).

En cuanto a los fungicidas pirimidínicos, etirimol y dimetirimol, se ha podido observar que sin metabolizarse se translocan en el simplasto hasta las hojas, donde se degradan. En tratamiento radical, etirimol es generalmente distribuido en cereales, pero en manzano es retenido en las nerviaciones de las hojas. Esto probablemente, es lo que ha ocurrido cuando ha sido aplicado en el control de mildiu del manzano causado por *Podosphaera leucotricha*, por lo que ha fracasado el tratamiento (CAVELL *et al.*, 1971). Triarimol parece ser que sólo ha sido usado en pulverizaciones, pero la actividad erradicante de este compuesto hace pensar que tiene alguna actividad sistémica (GILPATRICK y SZKOLINIK, 1970). Los derivados del oxathiin, carboxin y oxicarboxin, han mostrado también actividad apoplástica en cereales y otras herbáceas, té, *Camellia sinensis* (VENKATA RAM, 1969), *Phaseolus vulgaris* (SNEL y EDINGTON, 1970); tridemorf en cebada (POMMER *et al.*, 1969), triforina en centeno, *Secale cereale* (SCHICK y VEEN, 1969) y algunos fungicidas organofosforados, como pyrazofos en el tratamiento del mildiu del manzano (HAY, 1971).

El transporte apoplástico raramente parece ser específico, así se ha estudiado el comportamiento de algunos compuestos como linuron y atrazina (WALKER y FEATHERSTONE,

1973), fungicidas (SHEPHARD, 1973), etc., en herbáceas, observándose diferencias más bien cuantitativas. Quizá, según ciertos autores, en plantas leñosas no sucede igual, por lo que fracasan los tratamientos.

Contrariamente, salvo excepciones, no parece que sigan los productos un sentido centrípeto, es decir, desde las hojas tratadas al interior de la planta. Sin embargo, así se ha observado con derivados bencimidazólicos del tiabendazol y benomilo, o más bien el metabolito de este último, carbendazima. Translocados así, han reducido la infección en hojas no tratadas de remolacha inoculadas con *Cercospora* después de haber sido pulverizada con estos productos (SOLEL, 1970 a). Resultados más netos se obtuvieron con pulverizaciones foliares en el control de la marchitez del algodón, *Verticillium albo-atrum* usando estos productos acidificados con ácido clorhídrico. Dicho patógeno fue inoculado en el tallo antes y después de los tratamientos, siendo detectados materiales fungitóxicos mediante bioensayos con hojas situadas a un nivel superior al del punto de inoculación y en tejidos xilemáticos. De igual modo, extractos del xilema fueron examinados en el espectrofotómetro con LUV, detectándose carbendazim y tiabendazol en sus correspondientes plantas. Al ser las soluciones muy ácidas, quizá fuera dañado el apoplasto de ahí su diferente translocación (BUCHENAUER y ERWIN, 1971).

Otros estudios sobre el movimiento simplástico, fueron observados por SOLEL *et al.* (1973) con benomilo y carbendazima en manzano y pepino. Asimismo se ha seguido esta vía con pyroxiclor en aplicación foliar para el control de *Pgythophthora parasitica* en tabaco (NOVERHOSKE, 1975a), y en el retraso del desarrollo de la podredumbre de la raíz por *Phytophthora*, en rododendrón (HOITINK Y SCHMITTHENNER, 1975).

Algunos autores piensan en la posibilidad de que se produzca en estos casos una acumulación activa del producto en el simplas-

to, o entre las células, mediante un fenómeno de difusión.

Puntualizaciones:

Un aspecto muy importante en un sistémico es su habilidad para penetrar en la planta, al punto de que ésta debía ser considerada al formularlos. Asimismo, debido a que es mínimo el margen de seguridad entre fitotoxicidad y fungitoxicidad es difícil que el suministro de un biocida no perjudique a una planta. No obstante, en el caso de los fungicidas sistémicos se tiene la ventaja de que con frecuencia son altamente selectivos, aunque esta característica debía ser tal, que un producto fuera capaz de diferenciar entre los tejidos vivos del patógeno y del huésped.

Por otro lado cabe recordar, que muchos fungicidas sistémicos han resultado muy eficaces como erradicantes, es decir por su capacidad de eliminar infecciones establecidas, y para este fin tanto su selectividad como su facilidad de absorción son básicas.

Con fines erradicantes, en muchos casos se utilizan en pulverizaciones para el control de enfermedades de la hoja, no obstante, hay que tener en cuenta, que los productos así aplicados son translocados por el apoplasto emigrando a los márgenes y extremo de la hoja, de modo que la mayor parte de la superficie de la misma sólo está protegida durante muy poco tiempo, a menos que se mantenga un continuo abastecimiento de producto. Por tanto, sería necesario que existiera un balance entre la entrada y la retención sobre la superficie, lo que puede dar lugar a un resultado insatisfactorio, ya que las propiedades requeridas para la retención pueden actuar en contra de la entrada. A pesar de todo hay que considerar, que la erradicación de una enfermedad implica un movimiento entre el huésped y el patógeno, lo que es obstaculizado por la barrera que se forma entorno a la lesión.

Los residuos que dejan las pulverizaciones con sistémicos, pueden ser eliminados

en el margen foliar; en cambio, si el producto atraviesa la cutícula del fruto la eliminación es más difícil, si bien podría reducir la tasa de infecciones en el almacenamiento.

Los tratamientos radiculares presentan distintos caracteres, así si el producto es estable en el suelo, hay que suministrarlo en suficiente cantidad y de forma que llegue acceder a la raíz en los períodos fundamentales de crecimiento. No obstante, la planta parece tener poca capacidad para regular la entrada de producto por la raíz, donde la endodermis parece comportarse como una barrera.

La dosis adecuada se podría conseguir asegurando una lenta y continua liberación de producto en el agua del suelo, de forma que supliera la corriente de transpiración. Esto se podría obtener o fijando un correcto grado de insolubilidad, o usando un producto que fuera absorbido por el suelo y liberado lentamente. Una limitada movilidad en el suelo podría ser también una ventaja. Para alcanzar todos estos objetivos, es necesario conocer suficientemente las interacciones entre la planta, el suelo y el fungicida. Los tejidos necrotizados que rodean las raíces vivas, son también capaces de acumularlo y más tarde liberar cierta cantidad de producto en la corriente de transpiración. Esto puede procurar un eficaz almacenamiento y actuar como un amortiguador frente a las violentas fluctuaciones de la concentración en la solución del suelo que pasa a través de las raíces.

Los productos translocados en el apoplasto no son redistribuidos dentro de la planta; sin embargo, pueden ser percolados a través de las hojas, tomados por las raíces y recirculados en el apoplasto.

Existen múltiples versiones de este proceso. Así, la recirculación de nutrientes puede tener alguna importancia en cultivos creciendo en condiciones marginales y pueden reducir la acumulación tóxica en las hojas. De igual modo, de la transferencia en la natura-

leza de productos fisiológicamente activos, un ejemplo típico es la interacción entre *Camelina alyssum*, la cual produce una toxina que es expulsada por las hojas y al caer al suelo puede dañar una planta como el lino por vía radicular (GRÜMMER y BEYER, 1960).

Otra faceta de este proceso es que puede además proporcionar un continuo abastecimiento de producto a las hojas transpirantes, además de asociarse al tratamiento radicular. Por otra parte, la pérdida de agua por los frutos no es probablemente grande, ni tampoco los residuos en fruto. Esto se ha observado en el tomate (PETERSON y EDINGTON, 1971).

Los productos con baja fitotoxicidad permiten tratar suelos infectados, así como enfermedades vasculares. Hemos dicho que si los fungicidas se aplican a la raíz los productos se translocan en el apoplasto, y si se aplican a la hoja, por el simplasto, y en este caso su distribución permitiría controlar enfermedades vasculares y de la raíz. Ej.: un compuesto con la movilidad del ácido metoxifenilacético podría ser pulverizado sobre las hojas, transportado a las raíces y liberado en el suelo circundante, constituyendo de esta forma un medio óptimo de control para tratar enfermedades de la raíz.

Los productos distribuidos en el simplasto al ser transportados desde las hojas tratadas a jóvenes tejidos en crecimiento, reducirían posiblemente la necesidad de repetidas pulverizaciones. Si éstos productos se distribuyeran de forma similar a los carbohidratos, su translocación podría ser muy influenciada por la infección de una planta. Se sabe que en una lesión se acumulan parásitos obligados, y esto sucede tanto en el tejido del huésped como en el micelio del hongo, pudiendo implicar una retención de carbohidratos en la hoja infectada así como un pequeño transporte de la hoja al patógeno. Es decir, en las plantas infectadas se produce una alteración en la translocación que puede afectar además de a los carbohidratos a otras sustancias como fotosintatos, los cuales pueden ser

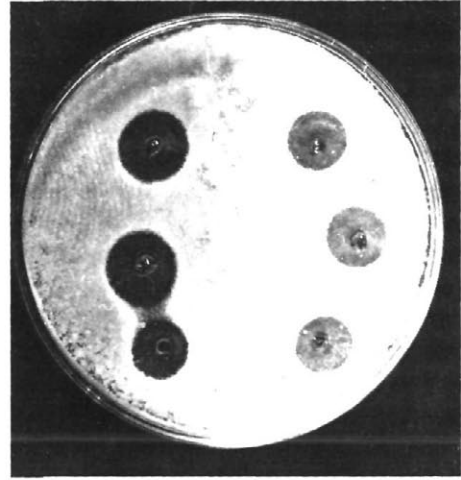


Fig.1.- Disposición en la placa sobre el medio de cultivo, de las porciones de órganos de los plantones tratados. Se observan los halos de inhibición entorno a las mismas después de haber nebulizado la superficie de las placas con una suspensión de un hongo.

atraídos por la infección de las hojas adyacentes e incluso de otras más distantes.

MATERIAL Y METODOS

En los ensayos realizados para averiguar la sistemicidad de 3 fungicidas sistémicos: benomilo, triforina y thiocur en plantones de Naranja amargo (*Citrus aurantium* L.) se pretendía conocer el comportamiento de dichos productos en el interior de la planta, en cuanto a su distribución, rapidez de absorción, acúmulo y persistencia.

Los productos fueron aplicados a los plantones en las 3 pruebas realizadas a diversas concentraciones, y en suspensión acuosa o en suspensión acuosa con la adición de aceites minerales blancos de diversa viscosidad: 20^ºE y 268^ºE. El hecho de aplicar los aceites en estos estudios, se debió a los positivos resultados obtenidos ya en pruebas análogas por SOLEL *et al.* (1972), ZAKI y ERWIN (1973), WICKS (1973), ERWIN *et al.* (1974), de CICCIO y LUISI (1975), y así sucesivamente.

En los bioensayos se utilizó la técnica descrita por ERWIN *et al.* (1968 a). El material a ensayar procedía de la raíz, tallo y hoja de los plantones y estaba constituido de discos de hoja de 7 mm. de diámetro, y de secciones de cilindro leñoso y sus correspondientes anillos de corteza de 3 mm. de longitud.

Dicho material se cortaba a dos alturas del tallo, correspondientes a 10 y 20 cm. respectivamente por encima del cuello de la planta. Asimismo de la raíz se cortaban 3 secciones de leño y sus correspondientes anillos de corteza también de 3 mm. de longitud.

Las placas Petri utilizadas eran de 9 cm. de diámetro y contenían Agar-patata-dextrosa (PDA) como medio de cultivo, sobre cuya superficie eran colocadas simétricamente, las porciones de órganos de los plantones.

Para cada plantón se usaron 4 placas Petri, 3 para el material procedente de la parte aérea y 1 para el de la raíz. En cada placa se colocaron 6 trozos, siendo de igual naturaleza los procedentes de la parte aérea, si bien cada 3 eran procedentes de una de las 2 alturas consideradas en la planta. Por el contrario, en el caso de la raíz se disponían 3 porciones de leño con 3 de corteza.

En cada bioensayo se utilizaron porciones de órganos procedentes de 2 plantones por concentración y producto, así como de 2 testigos.

Dichas placas eran posteriormente sembradas uniformemente por nebulización con la suspensión de 1 hongo (Fig. 1).

Las colonias usadas para nebulizar las placas fueron: *P. expansum* para las que contenían porciones de órganos procedentes de plantones tratados con benomilo y thiocur, y *Cl. cucumerinum* para las placas que contenían material procedente de plantones tratados con triforina.

Dichos hongos habían sido previamente seleccionados debido a su sensibilidad a éstos productos, de forma que permitiera estudiar la sistemicidad de los mismos.

Las placas eran incubadas en termostato a 22°C durante 48 h., siendo al cabo de este tiempo medidos los eventuales halos de inhibición.

La medida de los halos de inhibición dependía de la cantidad de producto existente en la porción de órgano correspondiente de los plantones, así como de la actividad del compuesto frente al hongo ensayado.

Así pues, como las pruebas se realizaron a diversos intervalos de tiempo, después del tratamiento de los plantones, la medida media de los halos de inhibición relativos a las porciones de igual naturaleza obtenida al final de cada bioensayo, venía a determinar el comportamiento sistémico de cada producto en los distintos órganos de la planta a cada concentración, lo que indicaba en cada intervalo de tiempo el acúmulo, la rapidez de absorción y la persistencia del fungicida.

De igual forma, si la media se obtenía a partir de los halos presentados por las porciones de los 4 órganos para cada concentración, se conseguía una idea global de la distribución del producto en la planta.

Prueba I.

Tuvo carácter preliminar.

Los productos se aplicaron en suspensión acuosa, efectuándose 2 tipos de tratamientos: foliar a concentración de 1.000 ppm, y al terreno, a 200 y 500 ppm.

Se utilizaron 78 plantones, 36 para cada tipo de tratamiento, de los que 18 se destinaban a cada concentración.

Como testigos para ambas pruebas se utilizaron 6 plantones.

Se efectuaron 3 bioensayos a los 10, 20 y 30 días del tratamiento.

Resultados:

Tratamiento foliar:

Mostró mayor sistemicidad la triforina, particularmente por su acúmulo en hoja y

Cuadro I (a).- **Sistemicidad del benomilo, triforina y thiocur en tratamiento foliar a concentración de 1.000 ppm.**

Productos	Porciones de órganos de plantones	Medida (mm.) de los halos de inhibición al cabo de los días (1):					
		5	15	25	35	45	65
Benomilo	hoja	2,30	3,00	1,00	0,00	0,00	0,00
	corteza	0,80	1,20	3,10	1,10	0,00	0,00
	leño	1,00	0,70	0,50	0,30	0,00	0,00
	raíz	0,00	0,50	0,80	1,60	3,90	4,10
Triforina	hoja	0,83	8,00	1,00	0,16	0,00	0,60
	corteza	2,60	2,00	1,50	1,10	0,66	0,83
	leño	0,80	2,60	2,75	0,75	0,75	0,41
	raíz	2,00	3,00	6,40	1,80	1,10	3,50
Thiocur	hoja	3,00	2,00	1,00	0,80	0,00	0,00
	corteza	1,00	0,80	0,90	0,70	0,00	0,00
	leño	0,00	0,00	0,30	0,20	0,00	0,00
	raíz	1,00	0,00	0,70	1,50	0,00	0,50

(1).- Cada dato constituye la media de 12 medidas correspondientes al radio del halo de inhibición presentado en torno a cada porción del órgano ensayado, relativo a dos alturas del tallo de dos plantones y a una longitud de raíz.

Cuadro I (b).- **Sistemicidad del benomilo, triforina y thiocur en tratamiento foliar a concentración de 200 ppm.**

Productos	Porciones de órganos de plantones	Medida (mm.) de los halos de inhibición al cabo de los días (1):					
		5	15	25	35	45	65
Benomilo	hoja	0,00	5,50	7,10	6,70	5,00	5,10
	corteza	0,80	8,40	7,50	0,60	0,90	0,20
	leño	5,30	12,80	6,00	1,50	0,50	0,40
	raíz	6,20	4,90	9,70	3,10	5,20	1,50
Triforina	hoja	0,00	1,75	1,25	0,16	2,90	0,10
	corteza	0,00	2,90	2,00	1,33	1,08	0,00
	leño	0,00	1,50	2,58	0,75	0,08	0,00
	raíz	0,00	1,00	5,16	2,80	2,66	1,00
Thiocur	hoja	2,00	4,70	11,50	12,00	6,50	4,00
	corteza	3,00	13,00	12,30	5,10	4,30	0,20
	leño	4,00	14,70	14,80	11,50	5,80	0,90
	raíz	0,00	15,00	18,30	11,50	5,60	0,60

(1).- Cada dato constituye la media de 12 medidas correspondientes al radio del halo de inhibición presentado en torno a cada porción del órgano ensayado, relativo a dos alturas del tallo de dos plantones y a una longitud de raíz.

Diagrama 1a. Relativo al acúmulo y persistencia del benomilo en hoja, corteza, leño y raíz de plantones de naranjo amargo tratados a la hoja a concentración de 1.000 ppm. y al terreno a concentración de 200 ppm. al cabo de los 5-15-25-35-45 y 65 días del tratamiento.

Organismo ensayado: *Cl. cucumerinum*

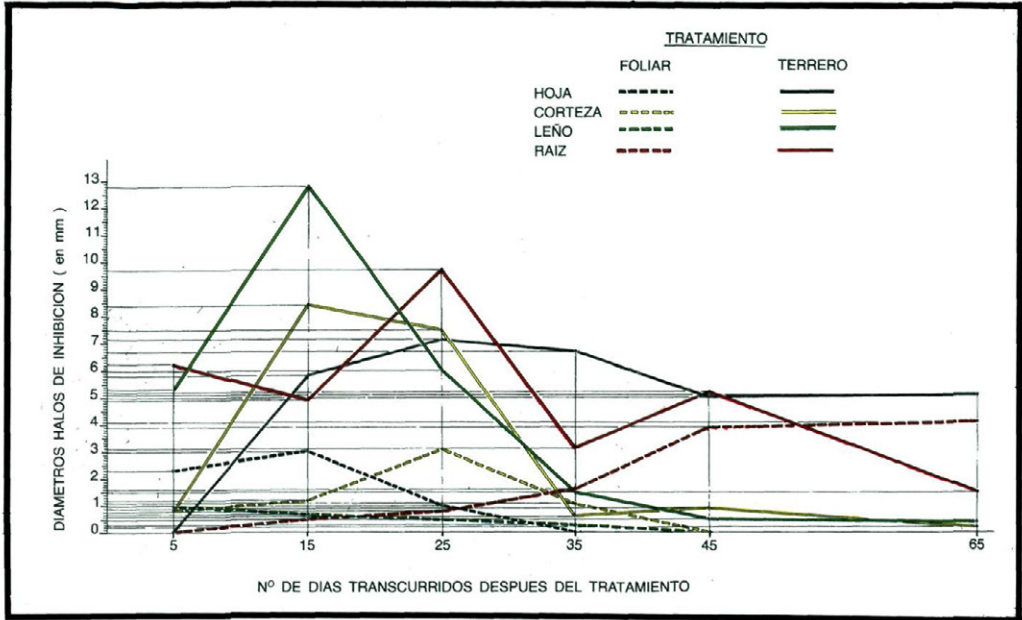


Diagrama 1b. Relativo al acúmulo y persistencia de la triforina en hoja, corteza, leño y raíz de plantones de naranjo amargo tratados a la hoja a concentración de 1.000 ppm. y al terreno a concentración de 200 ppm. al cabo de los 5-15-25-35-45 y 65 días del tratamiento.

Organismo ensayado: *Cl. cucumerinum*

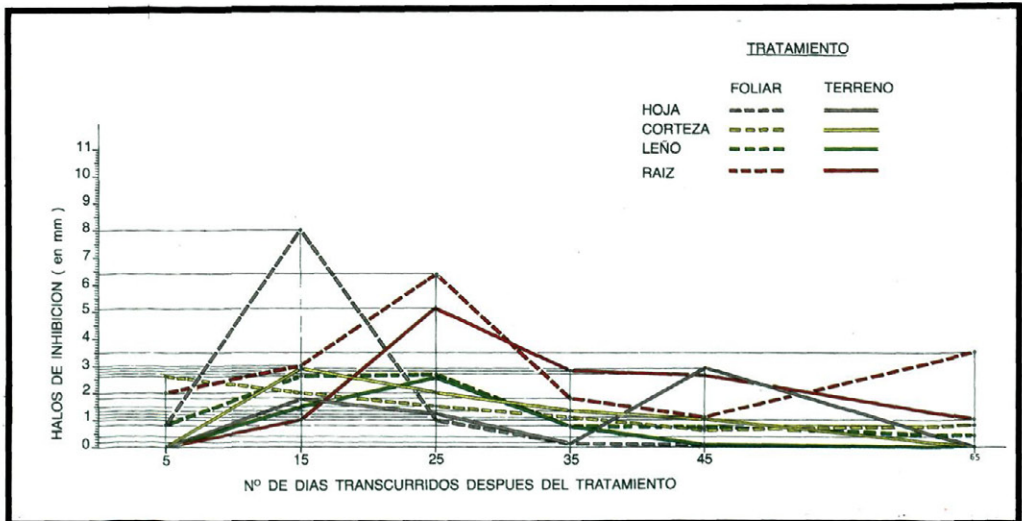
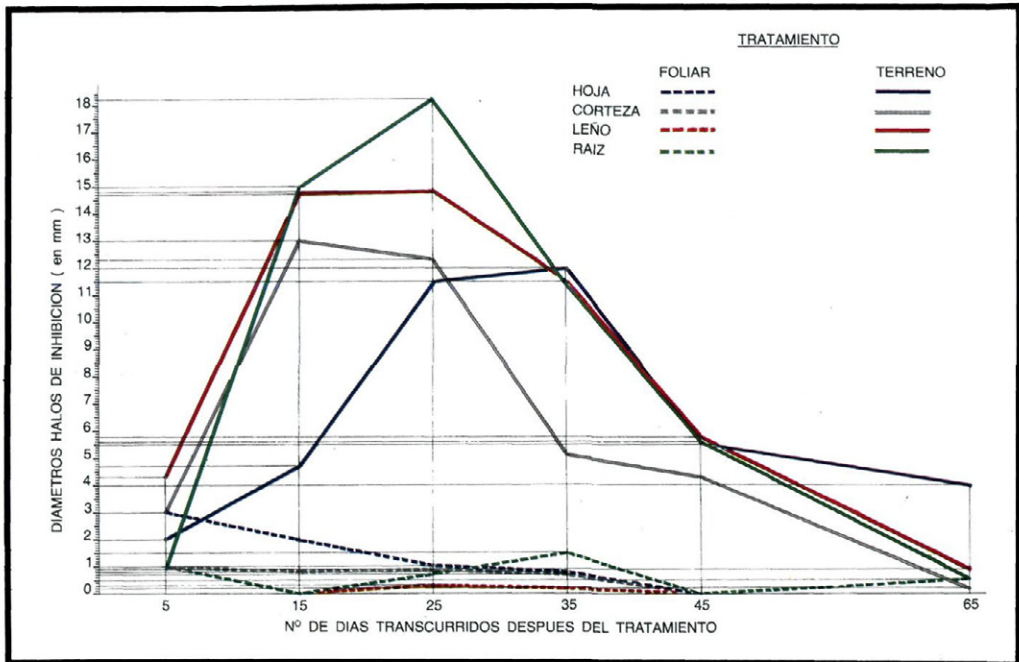


Diagrama 1c. Relativo al acúmulo y persistencia del thiocur en hoja, corteza, leño y raíz de plántones de naranjo amargo, tratados a la hoja a concentración de 1.000 ppm. y al terreno a concentración de 200 ppm., al cabo de los 5-15-25-35-45 y 65 días del tratamiento.

Organismo ensayado: *Penicilium expansum*



raíz, y rapidez de absorción en hoja durante los 13 o 14 días primeros, así como por su persistencia en raíz, por depositarse en ella el producto procedente de los otros órganos de la planta. En segundo lugar, fue más sistémico el benomilo particularmente por su persistencia en raíz. El thiocur se mostró poco sistémico en esta modalidad de tratamiento.

Tratamiento al terreno:

Destacó la sistemicidad del thiocur, especialmente por su acúmulo y rapidez de absorción en raíz y leño durante los 20 días consecutivos al tratamiento, e incluso por mostrar buena persistencia en hoja. En segundo lugar, presentó buena sistemicidad el benomilo, particularmente por su acúmulo en leño y raíz. La triforina se mostró poco sistémica, si bien presentó cierto acúmulo en raíz pero de absorción lenta, y cierta persistencia en hoja y raíz.

Prueba II:

Igual que en la primera, los productos se aplicaron en suspensión acuosa y tratamiento foliar y al terreno.

Las concentraciones utilizadas fueron, en el tratamiento foliar de 1.000 ppm. y en el tratamiento al terreno de 200 ppm., debido a la eficacia que mostró esta concentración en la primera prueba.

Para cada modalidad de tratamiento se usaron 36 plántones. Como testigos para ambos tipos de tratamiento se utilizaron 12 plántones.

Los bioensayos se realizaron a 5, 15, 25, 35, 45, 65 días del tratamiento.

Resultado: Cuadro 1 a, b; Diagrama 1 a), b), c).

Tratamiento foliar:

En términos generales el orden de mayor a menor sistemicidad de los productos fue:

triforina, benomilo y thiocur. La triforina destacó por su acúmulo y rapidez de absorción, y en segundo lugar por su persistencia. Presentó el mayor acúmulo de los 3 productos, lo que se manifestó en hoja a los 15 días del tratamiento y en raíz a los 25 días, por lo tanto, la planta tenía entre los 10 y 30 días las mayores cantidades de triforina. Asimismo presentó la mayor rapidez de absorción en hoja entre 5 y 15 días, y en raíz entre 15 y 25 días aproximadamente del tratamiento. Igualmente, la triforina mostró buena persistencia en raíz (si bien menor que el benomilo), hasta más de 65 días del tratamiento, por darse de ella un acúmulo creciente de producto de los 45 días en adelante, procedentes de los otros órganos de la planta.

El benomilo presentó el mayor acúmulo en raíz de 45 días en adelante y en segundo lugar en hoja, donde presentó cierto acúmulo inicial con un máximo a 15 días y en corteza a 25 días. Del mismo modo, mostró cierta rapidez de absorción en hoja. La persistencia fue su característica especial en este tipo de tratamiento, por presentar una apreciable cantidad de producto en raíz que se estabilizó a los 45 días, prosiguiendo hasta pasados los 65 días del tratamiento. Fue el producto más persistente de los tres ensayados.

El thiocur se mostró poco sistémico en tratamiento foliar, presentando solamente cierto acúmulo en hoja a los 5 días del tratamiento que consecutivamente fue decreciendo, por tanto, sólo mostró cierta rapidez de absorción inicial.

Tratamiento al terreno:

En términos generales el orden de mayor a menor sistemicidad de los productos fue: thiocur, benomilo y triforina, destacando el Thiocur que presentó el mayor acúmulo, rapidez de absorción y persistencia de los 3 productos.

Del thiocur, los mayores acúmulos se dieron en raíz, con un máximo a los 25 días del tratamiento, y en leño entre 15 y 25 días después. No obstante en corteza y hoja se acumularon de igual modo cantidades apreciables de producto: en hoja entre 15 y 25 días después del tratamiento y en corteza entre 25 y 35. Igualmente, manifestó una gran rapidez de absorción, si bien el producto apareció acumulado en hoja más tarde, debido al sentido de transporte del fungicida en el interior de la planta en este tipo de tratamiento. En cuanto a persistencia, presentó un buen grado especialmente en hoja, estando este hecho también relacionado con el sentido de circulación del producto.

El benomilo presentó de igual forma buena sistemicidad en esta modalidad de tratamiento, si bien menor que el thiocur. Sus mayores acúmulos se dieron en leño a los 15 días del tratamiento y en raíz a los 25 días, mostrando una absorción bastante rápida y pasando en poco tiempo al leño donde se observó el mayor acúmulo, el cual se manifestó a los 15 días del tratamiento. Por otra parte, tuvo buena persistencia hasta más de 65 días del tratamiento, particularmente en hoja y en segundo lugar en raíz.

La triforina se mostró poco sistémica en tratamiento al terreno, con gran diferencia de los otros productos. En raíz presentó cierto acúmulo con un máximo a 25 días del tratamiento. Su absorción fue lenta y poca su persistencia, observándose cierta cantidad en raíz que persistió hasta pasados los 65 días, y en menor cantidad en hoja donde a su vez persistió hasta los 60 días del tratamiento.

Prueba III:

Los productos se aplicaron en tratamiento foliar, en suspensión acuosa, o en suspensión acuosa con adición al 1% de dos aceites minerales blancos de diversa viscosidad,

respectivamente de 20º y 268º Engler, los cuales fueron aplicados separadamente. Por tanto, se utilizaron tres modalidades de tratamiento.

La concentración utilizada fue de 1.000 ppm.

En estos ensayos se utilizaron 144 plántones. Cada grupo de 12 plántones constituyó una experiencia a la que se aplicó cada producto de cada una de las tres formas indicadas.

Como testigos se utilizaron 3 grupos de 12 plántones por cada tipo de vehículo; es decir, solución acuosa en blanco, solución acuosa con la adición de aceite de 20ºE, en blanco, y solución acuosa con la adición de aceite de 268ºE, en blanco. Por tanto, cada grupo de plántones recibió respectivamente la cantidad de agua estéril aplicada al grupo de plántones tratado con el producto sin adición de aceite, o el volumen de emulsión acuosa con uno y otro aceite.

Resultados: Cuadro 2, Diagrama 2.

El benomilo fue más sistémico, cuando se aplicó con aceite de 20º E, el cual le confirió especialmente persistencia hasta pasados 65 días del tratamiento, y con el que presentó buena rapidez de absorción, la cual se manifestó particularmente entre los 10 y 15 días, mostrando el mayor acúmulo de los 10 días del tratamiento. El aceite de 268ºE, le confirió cierta persistencia, y en solución acuosa mostró una rapidez de absorción media, presentando cierto acúmulo a los 10 días del tratamiento.

La triforina fue más sistémica en suspensión acuosa, especialmente por su acúmulo y rapidez de absorción entre 10 y 15 días, mostrando el mayor acúmulo a 15 días del tratamiento. Asimismo en suspensión acuosa presentó cierta persistencia hasta pasados 65 días del tratamiento. Con los aceites fue mucho menos sistémica, no obstante con el aceite de 20º E, presentó rapidez de absorción entre 10 y 15 días,

mostrando cierta persistencia con ambos aceites, similar a la que manifestó en suspensión acuosa.

El thiocur fue más sistémico con los aceites, los cuales le confirieron buen acúmulo, destacando su rapidez de absorción con el de 268º E, entre 15 y 20 días. Con el aceite de 20º E, presentó una absorción lenta, mostrando el mayor acúmulo a 35 días del tratamiento, con buena persistencia. En solución acuosa fue poco sistémico, si bien presentó cierta rapidez de absorción y el mayor acúmulo a 15 días, no obstante se acumuló poco y no presentó prácticamente persistencia.

Para construir el Diagrama 2, se ha considerado la media de cada 4 datos del Cuadro 2, correspondientes a los plántones tratados con cada producto y modalidad de aplicación.

En definitiva, cuando los productos fueron suministrados en suspensión acuosa y aplicados en tratamiento foliar y al terreno (Cuadro 1 a, b; Diagrama 2 a, b, c), se observó que en tratamiento foliar destacó el acúmulo de la triforina a los 15 días del tratamiento, así como la persistencia del benomilo hasta más de 65 días del mismo.

Del mismo modo, en el tratamiento el terreno presentó mayor acúmulo el thiocur a 25 días del tratamiento, y en segundo lugar el benomilo, mostrando ambos buena persistencia.

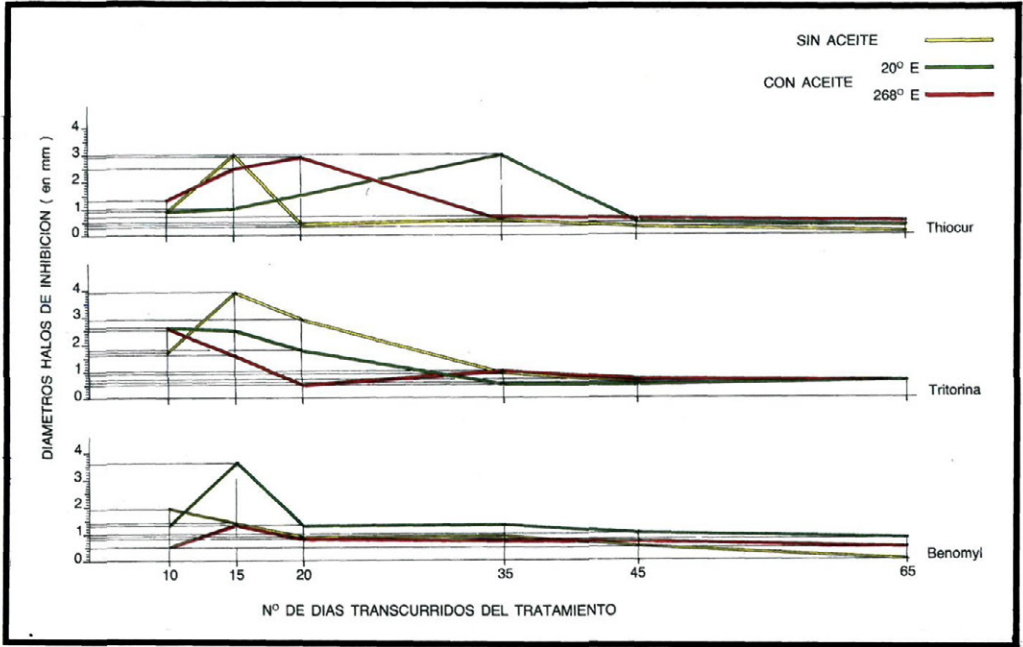
En los bioensayos de sistemicidad relativos a la actividad de los aceites minerales blancos en el comportamiento de los productos aplicados en tratamiento foliar (Cuadro 2 Diagrama 2), se observó un mayor acúmulo del benomilo y de triforina en el ensayo efectuado a 15 días del tratamiento; mientras que el thiocur mostró el mayor acúmulo efectuado a 35 días del tratamiento con el aceite de menor viscosidad (20º E). En general se puede decir que la adición de éste aceite ha aumentado el acúmulo del

Cuadro 2.- Acúmulo y persistencia de benomilo, triforina y thiocur, en hoja, corteza, leño y raíz de plantones de naranjo amargo de 18 meses de edad, en tratamiento foliar a dosis de 1.000 ppm., en agua o en emulsión al 1% de aceites minerales blancos de diversa viscosidad (20º E y 268º E).

Productos	Aceites		Porciones de órganos de plantones	Medida (mm) de los halos de inhibición al cabo de los días (1):					
	Conc. (%)	Visco (é)		10	15	20	35	45	65
Benomilo	0	0	hoja	1,80	2,40	1,00	0,50	0,20	0,08
			corteza	2,00	1,25	0,16	0,16	0,80	0,66
			leño	1,90	1,00	1,00	0,80	0,40	0,08
			raíz	2,50	1,08	1,33	1,00	0,50	0,33
	1	20	hoja	1,50	7,00	3,00	2,30	2,00	1,12
			corteza	1,90	1,50	1,60	2,25	1,30	0,70
			leño	1,40	2,50	0,30	0,08	0,00	0,50
			raíz	0,58	3,25	0,30	0,75	0,75	1,04
	1	268	hoja	0,00	0,33	0,05	1,25	0,66	0,00
			corteza	0,30	1,50	1,75	0,75	0,66	0,33
			leño	0,41	1,50	0,16	0,33	0,33	0,40
			raíz	1,42	2,10	1,16	0,60	1,16	1,30
Triforina	0	0	hoja	0,00	0,33	0,05	1,25	0,66	0,00
			corteza	0,30	1,50	1,75	0,75	0,66	0,33
			leño	0,80	2,60	2,75	0,75	0,75	0,41
			raíz	2,00	3,00	6,40	1,75	1,08	1,16
	1	20	hoja	0,83	1,16	0,30	0,00	0,00	0,00
			corteza	4,40	3,70	2,10	0,50	0,33	0,91
			leño	3,60	2,08	1,30	0,40	0,66	0,41
			raíz	1,80	3,16	3,60	1,08	1,16	1,00
	1	268	hoja	0,75	1,33	0,25	0,00	0,00	0,00
			corteza	2,30	0,40	6,60	1,00	0,90	1,00
			leño	3,40	3,80	1,10	0,90	0,30	0,30
			raíz	3,50	0,80	4,16	2,08	1,75	1,16
Thiocur	0	0	hoja	0,00	0,58	0,25	0,00	0,00	0,00
			corteza	1,00	3,60	0,15	0,50	0,50	0,10
			leño	1,66	1,60	0,40	0,16	0,00	0,56
			raíz	1,00	6,30	1,00	1,60	0,80	0,00
	1	20	hoja	0,50	0,90	0,83	0,08	0,06	0,40
			corteza	0,25	0,80	2,33	0,00	0,16	0,90
			leño	1,40	2,10	0,83	0,00	0,00	0,30
			raíz	1,58	2,50	6,50	2,00	1,25	1,46
	1	268	hoja	0,00	0,30	0,25	0,50	0,66	0,16
			corteza	0,90	2,30	7,00	0,41	1,16	0,75
			leño	1,60	1,66	0,83	0,66	0,00	0,75
			raíz	3,08	5,75	3,40	1,25	0,58	0,50

(1).- Cada dato es la medida de 12 medidas, correspondientes al radio de los halos de inhibición presentes en tomo a cada porción de órgano ensayado provenientes de cada una de las dos alturas del tallo y a una longitud de raíz, de 2 plantones que han recibido igual tratamiento.

Diagrama 2. Relativo al acúmulo y persistencia del benomilo, triforina y thiocur en plátones de naranjo amargo, en tratamientos foliares a dosis de 200 ppm. en suspensión acuosa o en emulsión al 1% de aceites blancos de diversa viscosidad 20° E y 268° E.



benomilo y la persistencia del thiocur en la planta. Estos últimos resultados concuerdan con los obtenidos en ensayos semejantes por DE CICCIO y LUISI (1975).

Como nota final se indica, que los resultados obtenidos fueron justificados mediante pruebas de actividad de control.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue realizado en el Insto. de "Patología Vegetale" de la Fac. de "Agraria" de la Univ. de Bari (Italia). Recuerdo con gratitud la ayuda recibida del Prof. V. de Cicco.

ABSTRACT

GIMENEZ VERDU, I., 1991: Ensayos sobre la traslocación en plantas de fungicidas sistémicos. *Bol. San. Veg. Plagas*, 17 (4): 497-518

A series of biological essays have been carried out in order to investigate the systemicity of the fungicides benomyl, triforina and thiocur. These products were applied on *Citrus aurantium* L. as leave and soil treatments and either as aqueous solution or with the addition of two mineral oils - 20° E and 268° E - with different viscosities.

Leave portions as well as bark rings with their correspondent portion of wood from stem or root, were transferred to culture medium and inoculated with a fungus strain sensitive to the fungicide. The velocity of absorption, accumulation, and persistence of the products were determined, and the occasional inhibition haloes that formed around the organ portions were periodically measured.

In the leave treatment in aqueous suspension, triforina showed the highest accumulation after 15 days of treatment and benomyl at 1 showed the highest persistence up to more than 65 days after treatment.

In soil treatment in aqueous suspension, thiocur showed the highest accumulation at 25 days of treatment, followed by benomyl at 15 days. Both fungicides showed also a good persistence.

When the leaves were treated with the oil added to the aqueous solutions it was observed that 20° E - the oil with lowest density - increased the accumulation of benomyl, with a maximum at 15 days of treatment, and thiocur with a maximum at 35 days. The oil 268° E - with highest viscosity - also conferred a good accumulation to thiocur, with a maximum at 20 days of treatment.

In general, it can be concluded that the low viscosity oil increased the accumulation of benomyl and the persistence of thiocur. On the contrary, triforina proved to be more systemic when applied without oils.

Key words: Translocation, bioassay, systemic fungicides, *Citrus aurantium L.*

REFERENCIAS

- ALFEN N.K. van, WALTON G.S. (1974). Pressure injection of Benomyl and methyl -2-benzimidazole carbamate hydrochloride for control of Dutch elm disease. *Phytopathology*, **64**: 1231.
- BUCHENAUER H., ERWIN D.C. (1971). Control of *Verticillium* wilt of cotton by spraying foliage with benomyl and thiabendazole solubilized with hydrochloric acid. *Phytopathology*, **61**: 433.
- CAVELL B.D., HEMINWAY R.J., TEAL G. (1971). Some aspects of the metabolism and translocation of the pyrimidine fungicide. *Proc. 6th Br. Insectic. Fungic. Conf.*, **2**: 431.
- CLARKSON D.T. (1974). *Ion transport and cell structure in plants*. New York: McGraw-Hill.
- CARAFTS A.S., CRISP C.E. (1971). *Phloem transport in plants*. San Francisco: Freeman and Co.
- CLEMONS G.P., SISLER H.D. (1969). Formation of a fungitoxic derivative from benlate. *Phytopathology*, **59**: 705.
- CROWY S.H., TANTON T.W. (1970). Water pathways in higher plants. *I. J. exp. Bot.*, **21**: 102.
- CROWDY S.H., GARDNER D., GROVE J.F., PRAMER D. (1955). The translocation of antibiotics in higher plants. I. Isolation of griseofulvin and chloramphenicol from plant tissue. *J. exp. Bot.*, **6**: 371.
- DE CICCO V., LUISI N. (1975). Influenza degli olisullatività del benomyl, del metiltiofanato e di alcuni derivati control il "mal secco" degli Agrumi. *Atti Giornate Fitopatologiche*: 392.
- EDINGTON L.V., BUCHENAUER H.E., GROSSMANN F. (1973). Bioassay and transcuticular movement of systemic fungicides *Pestic. Sci.*, **4**: 747.
- ERWIN D.C. (1973). Systemic fungicides: Disease control, translocation and mode of action. *A. Rev. Phytopat.*, **11**: 389.
- ERWIN D.C., HEE H., SIMS J.J. (1968 a). The systemic effect of 2-benzimidazole-carbamic acid methyl en *Verticillium* wilt of cotton. *Phytopathology*, **58**: 528.
- ERWIN D.C., SIMS J.J., PARTRIDGE J. (1968 b). Evidence for the systemic fungitoxic activity of 2-(4'-Thiazolyl)- benzimidazole in the control of *Verticillium* wilt of cotton. *Phytopathology*, **58**: 860.
- ERWIN D.C., KHAN R.A., BUCHENAUER H. (1974). Effect of oil emulsion on the uptake of benomyl and thiabendazole in relation to control of *Verticillium* wilt of cotton. *Phytopathology*, **64**: 485-489.
- ESCHRICH W. (1970). Biochemistry and fine structure of phloem in relation to transport. *A. Rev. Pl. Physiol.*, **21**: 193.
- GILPATRICK J.D. (1969). Systemic activity of benzimidazoles as soil drenches against powdery mildew of apples and cherries. *Pl. Dis. Repr.*, **53**: 721.
- GILPATRICK J.D., SZKOLNIK M. (1970). Unusual after-infection control of apple scab with (2,4-dichlorophenyl)-phenyl-5-pyrimidine methanol against *Venturia inaequalis*. *Phytopathology*, **60**: 574.
- GRAY L.E., SINCLAIR J.B. (1971). Systemic uptake of C- labelled 2-(4'-triazolyl) benzimidazole in soybean. *Phytopathology*, **61**: 523.
- GRUMMER G., BEYER H. (1960). The influence exerted by species of *Camelina* on flax by means of toxic substances. *Biology of Weeds* (ed. J.L. Harper), Oxford: Blackwell.
- HAY S.J.B. (1971). The control of apple mildew with HOE2873. *Proc. 6th Br. Insectic. Fungic. Conf.*, **1**: 134.
- HOJTIK A.A.J., SCHMITTHENNER A.F. (1975). Comparative efficacy of 2-chloro-6-methoxy-4 (trichloro-

- methyl) pyridine and ethazole for control of *Phytophthora* root rot of rhododendron and soybean. *Phytopathology*, **65**: 69.
- KURTZMANN R.H. (1966). Xylem sap flow as affected by metabolic inhibitors and girdling. *Pl. Physiol. Lancaster*, **41**: 641.
- MARTIN J.T., JUNIPER B.E. (1970). *The cuticles of plants*. London. Edward Arnold Ltd.
- NEVERSOKE R.L. (1975 a). Dowco 269:- a new systemic fungicide for control of *Phytophthora parasitica* of tobacco. *Phytopathology*, **65**: 22.
- NOVEROSKE R.L. (1975 b). Pyroxychlor-a new systemic fungicide for control of plant root diseases. *Donn. to Earth.*, **30**:3
- PEEL A.J. (1974). *Transport of nutrients in plants*. London. Butterworths.
- PETERSON C.A., EDINGTON L.V. (1970). Transport of the systemic fungicide benomyl in bean plants. *Phytopathology*, **60**: 475.
- PETERSON C.A., EDINGTON L.V. (1971). Transport of Benomyl into various plant organs. *Phytopathology*, **61**: 90.
- POMMER L.H., OTTO S., KRADEL J. (1969). Some results concerning the systemic action of tridemorph. *Proc. 5th Br. Insectic. Fungic. Conf.*, **2**: 347.
- RICHARDSON M. (1975). *Translocation in plants*. (2th edit. London . Edward Arnold Ltd.).
- SALERNO M., EDINGTON L.V. (1963). Similarity of movement of N-alkyl-quaternary ammonium compounds in aqueous systems on paper chromatograms and in plant xylem. *Phytopathology*, **53**: 605.
- SCHICKE P., VEEN K.H. (1969). A new systemic, Celaw 524 (N,N' - bis (1-fórmoamide-2,2,2-trichloroethyl) piperazine) with action against powdery mildew, rust and apple scab. *Proc. 5th Br. Insectic. Fungic. Conf.*, **2**: 569.
- SHABI E., PINKAS Y., SOLEL Z. (1974). Distribution of benzimidazole fungicides following pressure injection of pear trees at several growth stages. *Phytopathology*, **64**: 963.
- SELLING H.A., VONK J.W., KAARS SUIPESTEIJN A. (1970). Transformation of the systemic fungicide methyl tiophanate into 2. benzimidazole carbamic acid methyl ester. *Chem. and Ind.*: 1625.
- SHEPARD M.C. (1973). Barriers to the uptake and translocation of chemicals in herbaceous and woody plants. *Proc. 7th Br. Insectic. Fungic. Conf.*, **3**:841.
- SHONE M.G.T., WOOD A.V. (1974). A comparison of the uptake and translocation of some organic herbicides and a systemic fungicide by barley. I. *J. exp. Bot.*, **25**: 390.
- SHONE M.G.T., BARLETT B.O., WOOD A.V. (1974). A comparison of the uptake and translocation of some organic herbicides and a systemic fungicide by barley. II. *J. exp. Bot.*, **25**: 401.
- SOLEL Z. (1970 a). The systemic fungicidal effect of bencimidazole derivatives and thiophanate against *Cercospora* leaf spot of sugar beet. *Phytopathology*, **60**:1186.
- SOLEL Z. (1970 b). The performance of bencimidazole fungicides in the control of *Cercospora* leaf spot of sugar beet. *J. Am. Soc. Sug. beet Technol.*, **16**:93.
- SOLEL Z., EDINGTON L.V. (1973). Transcuticular movement of fungicides. *Phytopathology*, **63**: 505.
- SOLEL Z., PINKAS J., LOEBENSTEIN G. (1972). Evaluation of systemic fungicides and mineral oil adjuvants for the control of "mal secco" disease of lemon plants. *Phytopathology* **62**:1007-1013.
- SOLEL Z., SCHOOLEY J.M., EDINGTON L.V. (1973). Uptake and translocation of benomyl and carbendazim (methyl benzimidazol-2 y 1- carbamate) in the symplast. *Pestic. Sci.*, **4**: 713.
- SNEL M., EDINGTON L.V. (1970). Uptake translocation and decomposition of systemic oxathiin fungicides in bean. *Phytopathology*, **60**: 1708.
- STARON T., ALLARD C., DARPOUX H., GRABOWSKI H., KOLLMAN A. (1966). Persistence du triabendazole dans les plantes. Propriétés systémiques de ses sels et quelques données nouvelles sur son mode d'action. *Phyiat.-Phytopharm.*, **15**: 129.
- THANASSOULOPOULOS C.C., GIANNOPOLITIS C.N., KITSOS G.T. (1970). Control of *Fusarium* wilt of tomato and watermelon with benomyl. *Pl. Dis. Repr.*, **54**:561.
- TANTON T.W., DROWDY S.H. (1972 a). Water pathways in higher plants II. *J. exp. Bot.*, **23**: 600.
- TANTON T.W., CROWDY S.H. (1972 b). Water pathways in higher plants. III. *J. exp. Bot.*, **23**: 619.
- THOMSON W.W., PLATT K.A., CAMPBELL N. (1973). The use of lanthanum to delineate the apoplastic continuum in plants. *Cytobios*, **8**:57.
- ZAKI A.I., ERWIN D.C. (1973). The effect of oil on the uptake and translocation of methyl-2-benzimidazol-carbamato and its hydrochloric acid salt in cotton. *Phytopathology* **63**: 1219.
- VENKATA RAM D.S. (1969). Systemic control of *Exobasidium* vevans on tea with 1,4-oxathiin derivatives. *Phytopathology*, **59**: 125.
- VALKER A., FEATERSTONE R.M. (1973). Absorption and translocation of atrazine and linuron by plants with implications concerning linuron selectivity. *J. exp. Bot.*, **24**: 450.
- WICKS T. (1973). Control of apple scab with benomyl - oil. water emulsions. *Plant. Dis. Repr.* **57**: 560-562.