



EMBRAPA

CENTRO NACIONAL DE PESQUISA DA SERINGUEIRA E DENDÊ

633.8052
C947C
1982

Convênio SUDHEVEA/EMBRAPA

V CURSO INTENSIVO DE HEVEICULTURA PARA TÉCNICOS AGRÍCOLAS

Coletânea de Postilas



Manaus (AM) 1982

NOÇÕES DE FISIOLOGIA VEGETAL*

Pedro Barrueto Cid
Pesquisador do CNPSD

Dentro de uma problemática geral, nas plantas é possível distinguir alguns conceitos fundamentais: NUTRIÇÃO, CRESCIMENTO e DESENVOLVIMENTO, HERANÇA e EVOLUÇÃO.

I - NUTRIÇÃO

Nutrição Mineral - A planta, através de suas raízes, absorve do solo elementos minerais e água.

Solo - Substrato natural das plantas, de cujas características físicas e químicas depende seu crescimento. Do ponto de vista da fertilidade, a concentração dos nutrientes na maioria dos casos é baixa, da ordem de p.p.m. (mg/kg). O solo é um sistema heterogêneo complexo e muito pouco estático, além de difícil controle experimental. Distinguem-se três fases: sólida, líquida e gasosa.

A parte sólida basicamente está constituída por argila e matéria orgânica, ambas carregadas negativamente e, que, dependendo do Ph, atuam como trocadores de cátion com a solução do solo (fase líquida), que é a fonte imediata mais importante de elementos químicos para a absorção radicular, fenômeno este também relacionado com a magnitude do arejamento (fase gasosa).

Essencialidade do elemento químico - Nem todos os elementos químicos absorvidos pelas plantas são essenciais, o que sugere que elas carecem de uma delicada capacidade de discriminação. Um elemento é essencial quando, em sua ausência, a planta não completa o seu ciclo vital, sendo sua carência apenas corrigida através de sua aplicação. Num outro critério, o elemento é essencial quando forma parte de

* Trabalho apresentado originalmente em 1979, no III Curso Intensivo de Heveicultura para Técnicos Agrícolas.

um metabólico imprescindível para a planta, como, por exemplo, o magnésio, que forma parte de clorofila. São ainda exemplos de elementos essenciais: C, H, O, N, P, K, Ca, S, Fe, Mn, Cl, Zn, B, Cu e Mo. Os oito primeiros elementos mais o magnésio (Mg) designam-se por macronutrientes; os demais, por micronutrientes.

Deficiências nas plantas - Deficiências minerais podem ocorrer, seja porque a concentração de um elemento no solo é baixa, ou porque não está na forma disponível. Em qualquer das duas alternativas, a concentração do elemento na planta não satisfaz seu crescimento normal.

Concentração crítica - É aquela abaixo da concentração que proporciona um crescimento adequado da planta. O conceito de concentração crítica é importante porque informa a concentração abaixo da qual a produção é limitada e acima da qual a adubação não é econômica. (Figura 1).

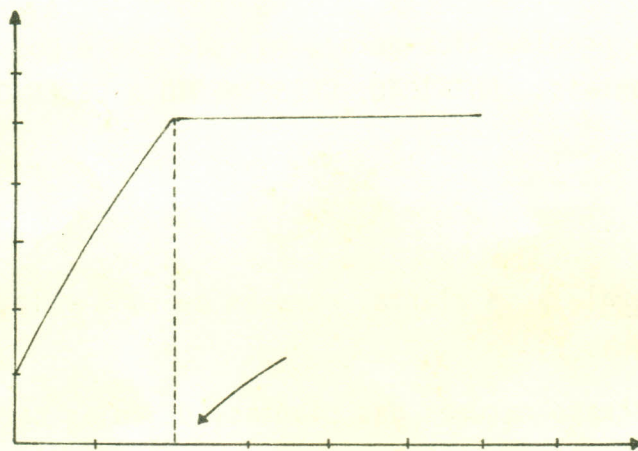


Fig. 1 - A seta indica a concentração crítica do adubo.

Nem sempre as deficiências são de fácil identificação visual. Primeiro, porque o transtorno metabólico causado pode não manifestar-se imediatamente. Segundo, as deficiências podem diferir de cultura para cultura. Terceiro, porque pode acontecer que sintomas parecidos correspondam a deficiências de elementos diferentes. A análise química da folha periodicamente, embora mais complexa, é muito mais exata que o diagnóstico visual da deficiência.

Além da raiz, a folha também pode ser ponto de entrada de nutrientes para a planta, sendo que neste caso a via de penetração pode ser a cutícula ou o estômato, ou ambos. Em geral, as aplicações foliares são mais complementares que substitutos da adubação do solo. Contudo, evidências experimentais têm indicado bons resultados da adubação foliar. Em cafeeiro, por exemplo, verificou-se que a eficiência do superfosfato quando aplicado por via foliar foi aproximadamente quatro vezes maior que quando fornecido ao solo.

Espaço livre - Tanto na raiz como na folha, o espaço livre representa os espaços intercelulares que se comunicam com a solução externa, por simples difusão.

Uma consequência direta deste fenômeno na folha é a saída de nutrientes por lavagem da chuva, orvalho e neblina.

Água - Sob o ponto de vista físico, a água no solo pode apresentar-se de quatro formas:

- a) Água gravitacional - É a água que gradualmente pode percolar pela influência da gravidade.
- b) Água de capilaridade - É a água que fica após a água gravitacional ter drenado, constituindo-se na principal fonte de água para as plantas mesófitas. Quando o solo tem a máxima quantidade de água capilar, diz-se que está na sua capacidade de campo.
- c) Água higroscópica - Representada pela água absorvida pelos colóides do solo; não é facilmente removível.
- d) Vapor de água - Presente no ar que fica entre as partículas, em equilíbrio com a fase líquida. A água nessa forma é pouco aproveitada pela planta.

Absorção e transporte - Devido à presença conjunta de água e sais minerais no solo, ambos são absorvidos pelas raízes. No entanto, a entrada dos sais até o xilema é um processo ativo, enquanto que o da água é passivo. Uma vez no xilema radicular, a corrente transpiratória constitui um dos fatores fundamentais no transporte e distribuição da água até as folhas.

Transpiração - Através do processo de transpiração, as folhas perdem água na forma de vapor. Essa perda verifica-se através dos estômatos, da cutícula e das lenticelas. Tem-se calculado que uma planta de milho durante seu crescimento pode perder até 204 litros de água.

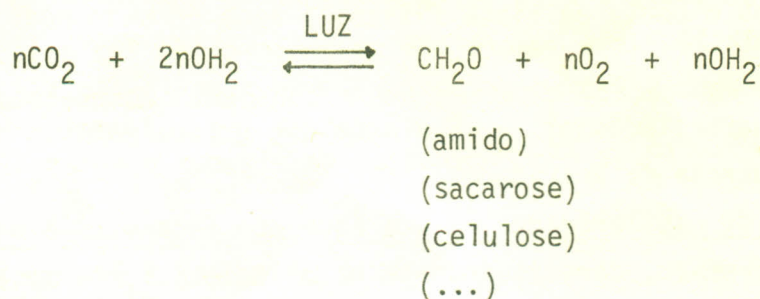
Fatores que influem na intensidade transpiratória - Na medida em que o sistema radicular vai ficando privado de sua reserva de água, a absorção pela raiz vai sendo progressivamente mais difícil. Assim, o balanço hídrico na planta é determinado pela relação absorção x transpiração.

Enquanto a transpiração é influenciada vigorosamente pelo gradiente de pressão de vapor entre a atmosfera e a folha, a absorção é influenciada pelo gradiente hídrico entre o solo e a raiz. Tanto no primeiro como no segundo caso existem resistências que regulam esses fenômenos, proporcionando-lhes uma dimensão fisiológica além da física.

Outros fatores envolvidos na transpiração são: velocidade do vento, área radicular, sensibilidade do aparelho estomático ou "deficit" hídrico, relativa impermeabilidade da cutícula à difusão do vapor de água, temperatura, etc.

Por excesso de transpiração e pouca disponibilidade de água no solo, a planta pode atingir o ponto de murcha permanente e, neste caso, não recupera sua turgência, ainda que colocada numa atmosfera saturada.

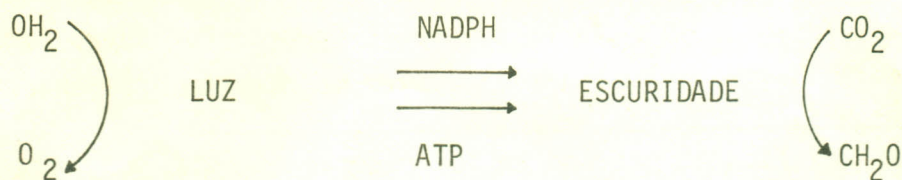
Fotossíntese - Processo mediante o qual as plantas verdes proporcionam nosso alimento, principalmente através da conversão do CO_2 e OH_2 em carboidratos. A equação global é:



Em geral, são milhões de toneladas de CO_2 transformadas em biomassa que refletirão no aumento da produção primária e nas transformações energéticas dentro do ecossistema. Nem sempre se percebe com clareza a magnitude da fotossíntese na terra. Para dar uma idéia desse processo, considera-se que se a produção mundial de aço é de 450.000.000 toneladas por ano, a produção de alimentos pelas plantas verdes é 450 vezes mais.

Nas plantas superiores, os órgãos da fotossíntese são principalmente as folhas, em cujas células interiores se encontram os cloroplastos com a clorofila, substratos da realização do conjunto de fases físicas e reações químicas do processo.

A luz tem uma influência direta no primeiro caso e indireta no segundo. Como conseqüência dos efeitos físicos da fotossíntese, forma-se o NADPH (Nicotinamida-adenina-dinucleotídeo-fosfato) e ATP (Adenosiu-trifosfato), dois tipos de moléculas energéticas importantes para a fixação de CO_2 pelo cloroplasto.



De acordo com as características da fase química, é possível classificar as plantas em C_3 ou C_4 .

As plantas C_4 constituem um grupo restrito, entre as quais pode-se citar: cana-de-açúcar, milho e muitas gramíneas tropicais. O grupo restante basicamente está constituído de plantas C_3 .

Tem-se observado que as plantas C_4 podem apresentar maior eficiência fotossintética (portanto maior produtividade) que as plantas C_3 . O fato ocorre devido, entre outras razões, a que as primeiras podem realizar fotossíntese em presença de CO_2 em concentrações mais baixas do que as segundas. Esta baixa concentração pode ocorrer no interior do mesófilo, pelo fechamento estomático (alta resistência difusiva) durante o dia, devido a um "deficit" hídrico transitório ou permanente.

Ponto de Compensação - Pela determinação da quantidade de CO_2 existente em câmaras fechadas, contendo plantas, tem-se verificado que a concentração de CO_2 do meio-ambiente não chega a zero, estabilizando-se num ponto denominado ponto de compensação, (Tabela 1). Isto sugere que na presença de luz existem reações que produzem CO_2 (fotorrespiração) e outras que o consomem (fotossíntese).

TABELA 1 - Ponto de compensação de algumas plantas (23°C).

P L A N T A	PONTO DE COMPENSAÇÃO (ppm)
Milho	9
Cana-de-açúcar	7
Fumo	60
Tomate	75

Fonte: WHITTINGHAN (1973).

Uma reação relacionada com a fotossíntese é a fotorrespiração, fenômeno este que fornece liberação de CO_2 , especialmente na presença de luz e concentrações crescentes de O_2 . Tem-se demonstrado que a fotorrespiração das plantas C_3 tem uma maior velocidade de despreendimento de CO_2 que as C_4 . As plantas C_4 teriam este fator a seu favor para produzir mais matéria seca. Em seringueira existem evidências para suspeitar de uma fotorrespiração alta.

O ponto de compensação tem importância tanto agrônômica como fisiológica, porque é um indicador da tolerância da planta à sombra. Por outro lado, tem-se verificado que dentro de uma mesma planta existem folhas com diferentes pontos de compensação (folhas de sol e folhas de sombra).

Transporte dos fotoassimilados - Mediante o processo da fotossíntese, o CO_2 que penetra na folha através dos estômatos é fixado pelos cloroplastos para a produção de fotoassimilados. Estes produtos abandonam o cloroplasto e são transportados na direção da raiz ou pontos de crescimento (flores, frutos, sementes, folhas, etc...). Assim como o xilema é a via principal da água e sais minerais absorvidos desde o solo, o floema é a via natural dos compostos formados pelas folhas (fotoassimilados).

Além do mais, dependendo do seu ponto de aplicação, os compostos fotoassimilados poderão circular pelo xilema e/ou floema. A translocação dos fotoassimilados não parece obedecer apenas a um gradiente de concentração entre os dois tecidos fornecedores (fonte) e os tecidos receptores (dreno). Existem evidências que sugerem um gasto de energia, em alguma etapa do processo de translocação, como por exemplo na passagem dos açúcares das células de clorênquima até as células dos tubos

crivosos.

Por outro lado, existem argumentos experimentais que mostram uma ação benéfica do boro na movimentação e absorção de sacarose no floema, sugerindo que o fenômeno da circulação dos compostos exportados pelas folhas longe de ser simples é complexo.

Em relação aos íons, sabe-se que, quando aplicados às folhas, eles são distribuídos em maior ou menor grau dentro da planta (Tabela 2). Assim, as deficiências de um elemento móvel aparece primeiro nas folhas mais velhas, enquanto que as deficiências de um elemento não móvel aparece nas folhas mais jovens.

TABELA 2 - Translocação de alguns elementos na planta a partir de sua aplicação na folha.

ÍONS	Mobilidade dentro da planta
K	alta
P	alta
Cl	alta
S	alta
Zn	parcial
Cu	parcial
Mn	parcial
Fe	parcial
Mo	parcial
Ca	baixa
Mg	baixa

Fonte: SUTCLIFFE & BAKER (1974).

Fatores limitantes da fotossíntese - A sensibilidade dos processos fotossintético e respiratório, sob condições de "deficit" hídrico, fornece informações a respeito da maior ou menor tolerância de uma espécie à desidratação. Alguns autores (CASTRO 1977; ROCHA NETO 1979) citam como principal causa da redução fotosintética o fechamento estomático, em decorrência de um crescente "deficit" hídrico na folha. Este "deficit", além de afetar a troca gasosa, afeta também a síntese da clorofila, a estrutura do cloroplasto e a expansão celular (crescimento).

Luz - No interior de uma comunidade vegetal, tanto a quantidade quanto a qualidade da radiação podem modificar-se. Influem neste aspecto a densidade de plantio, a área e a disposição foliar. Nas consorciações, estes conceitos são muito importantes.

A atenuação da radiação solar dentro da comunidade é uma função exponen -

cial, de modo que a intensidade cai logaritmicamente (Figura 2).

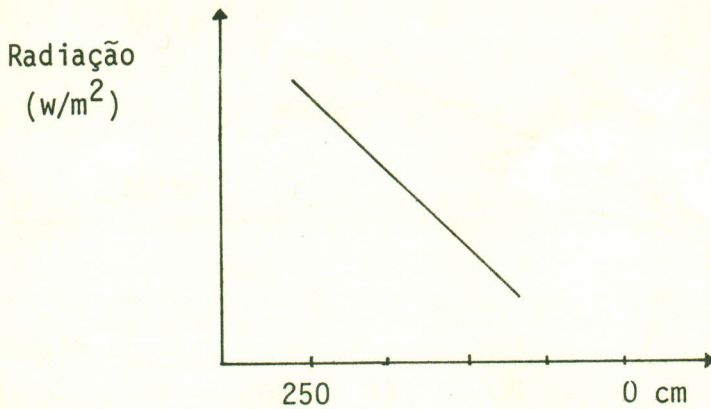


Fig. 2 - Atenuação da radiação solar desde a copa até o chão numa comunidade vegetal.

Fonte: LEOPOLD & KRIEDEMANN (1975).

Assim, pode acontecer que, com o incremento da área foliar da planta, a redução da intensidade luminosa seja maior; portanto, sua capacidade de incrementar o peso seco fica limitada, ou, em outras palavras, a eficiência fotossintética diminui, sugerindo um aumento no processo respiratório.

Entretanto, os requerimentos luminosos podem ser diferentes dentro de uma mesma planta, como também entre plantas. No primeiro caso, as folhas de sombra ultrapassam o ponto de compensação com uma intensidade luminosa bem menor que as folhas de sol. (Figura 3).

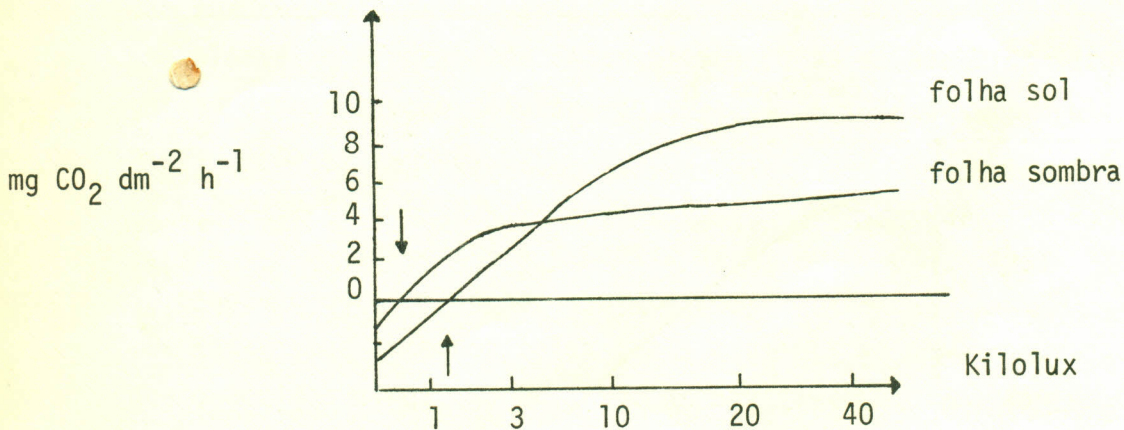


Fig. 3 - Comportamento das folhas de sol e de sombra frente a diferentes intensidades luminosas.

As setas indicam ponto de compensação.

Fonte: LARCHER (1975).

No segundo caso, as plantas C_3 são muito menos eficientes, porque se saturam com menores intensidade luminosas. (Figura 4).

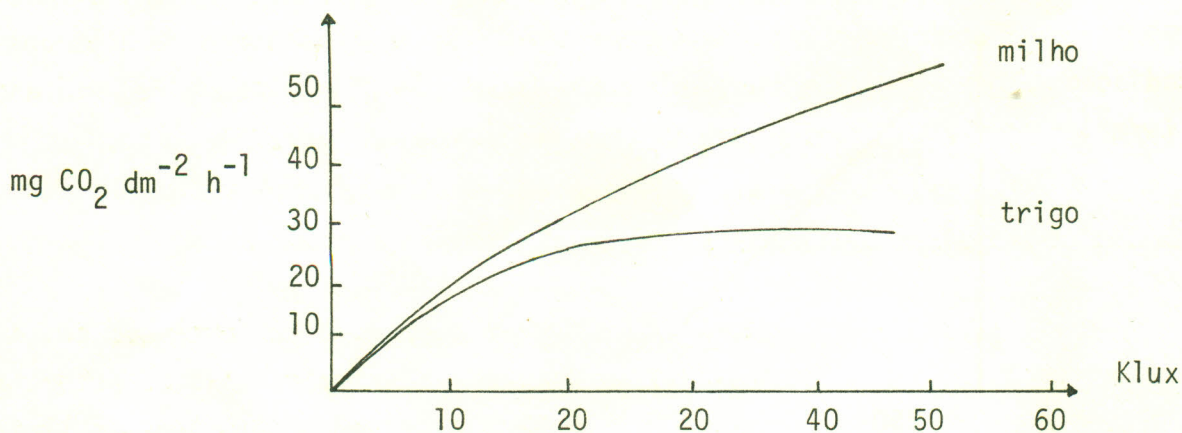


Fig. 4 - Comparação da taxa fotossintética entre uma planta C_3 e C_4 .
Fonte: LARCHER (1975).

Temperatura - O efeito da temperatura é exercido basicamente através dos processos enzimáticos presentes na folha. Um elevado aquecimento da folha, consequência de uma forte intensidade luminosa (60.000 a 90.000 lux), pode estimular uma alta produção de CO_2 , que diminuirá o pH do mesófilo, provocando o fechamento estomático, embora o suprimento de água seja normal.

Idade da folha - Existem evidências de que a folha, uma vez atingida sua máxima expansão, começa a experimentar um progressivo declínio na sua taxa fotossintética. Entre os fatores que contribuem para este fenômeno citam-se a translocação de nutrientes e a falta de suprimento hormonal desde o sistema radical. Esta perda de capacidade leva a um gradual decréscimo de seu peso. (Figura 5).

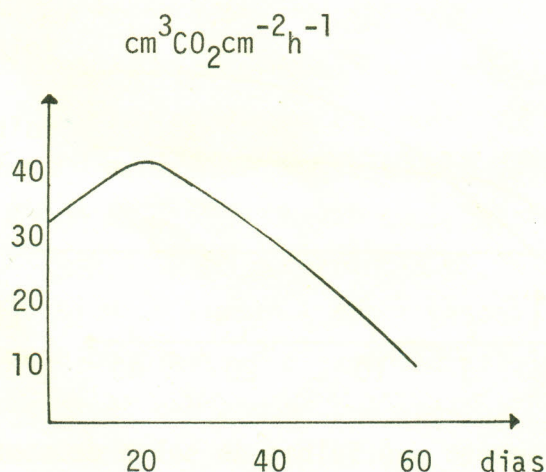


Fig. 5 - Paulatino declínio da taxa fotossintética de uma folha no tempo.

Fonte : WOOLHOUSE (1972).

Elementos minerais - A nutrição mineral exerce muita influência na formação de tecidos em desenvolvimento, via metabolismo do carbono. Os elementos minerais são incorporados em coenzimas ou em pigmentos e ainda participam diretamente como ativadores das reações que afetam diretamente a fotossíntese. Assim, o Mn e Cl atuam como ativadores da fotólise, o K está envolvido no transporte de elétrons a nível do tilacóide, o N e Mg formam parte da molécula de clorofila, o Fe está associado a sistemas enzimáticos relacionados com a síntese de clorofila, etc.

II - CRESCIMENTO E DESENVOLVIMENTO

Do ponto de vista biológico, uma planta é o produto da interação de duas variáveis centrais: herança e meio-ambiente. Enquanto a primeira fixa as potencialidades, e padrões genéticos têm que se manifestar, a segunda estabelece os limites em que há de se produzir o desenvolvimento. Fora deste contexto é impossível conceber a planta. Um exemplo claro desta interação é o fenômeno da floração, o qual, em certas plantas, só se verifica se a duração do dia excede certo valor crítico.

De acordo com muitos autores (STREET & OPIK 1970; THIMANN 1977), o desenvolvimento é um aumento irreversível de protoplasma. Sendo este incremento difícil de medir por métodos diretos, acode-se aos indiretos, que o refletem com certa fidelidade, como, por exemplo: peso seco, peso fresco, longitude dos tubos polínicos, área foliar, etc.

Ao incremento de tamanho ou matéria seca registrada periodicamente designa-se crescimento. No entanto, uma descrição do crescimento baseada exclusivamente em termos de altura ou de peso obviamente não abrange coisas de grande importância. Não leva em conta as variadas mudanças qualitativas que amiúde são consubstanciais ao crescimento da planta. Ficam ignorados muitos dos processos e detalhes que explicam e dão fundamento a estas variações de peso e altura.

Na planta, o programa de desenvolvimento se dá por vias tais como a divisão, alongação e diferenciação celular, ou seja, a capacidade da célula para ajustar seu metabolismo a novas funções.

O conceito de diferenciação permite entender porque uma célula da parênquima foliar de *Hevea brasiliensis* é capaz, em determinado momento, de sintetizar antocianos, enquanto que, em outro, sintetiza clorofila.

Os mecanismos internos pelos quais a planta se desenvolve são muitos complexos e desconhecidos ainda. No entanto, um dos sistemas importantes comprometidos no controle é o dos reguladores do crescimento, entre os quais incluem-se os fitormônios.

Convenções internacionais têm definido os reguladores do crescimento como compostos orgânicos distintos dos nutrientes, que, em pequenas quantidades, estimulam, inibem ou modificam um processo fisiológico na planta. O ácido indol-acético

(AIA) é um regulador do crescimento, mas por ser produzido pela própria planta, é também um fitormônio.

Em troca, o ácido 2,4 diclorofenoxi-acético (2,4 D) pode ser considerado apenas como um regulador do crescimento, já que não é produzido endogenamente. Os compostos que por seu efeito fisiológico produzem alongação celular recebem o nome genético de auxinas. Exemplo: AIA, ácido indol-butírico (AIB), ácido naftalem-acético (ANA).

Na atualidade, os fitormônios mais conhecidos são:

- Ácido indol-acético (estrutura indólica)
- Giberelinas (estrutura diterpenoide)
- Ácido abscísico (estrutura isoprenoide)
- Citocinina (estrutura purica)
- Etileno (estrutura hidrocarboneto)

Pela frequente sinergia ou antagonismo entre os fitormônios a nível dos tecidos, é difícil, do ponto de vista fisiológico, atribuir este ou aquele efeito sobre a planta a um único hormônio, muito embora os bioensaios realizados têm levado a inferir a existência de efeitos específicos. Têm-se observado que:

- AIA induz alongação celular.
- Citocininas promovem a divisão celular.
- Giberelinas (GA) estimulam o crescimento de plantas geneticamente anãs.
- Ácido abscísico (ABA) estimula a abscisão em frutos de algodoeiro.
- Etileno (C_2H_4), ainda sem bioensaios satisfatórios, apresenta efeito muito notável na maturação dos frutos.

São muitas as evidências experimentais que induzem a aceitar a possibilidade que o processo do desenvolvimento da planta é influenciado por rigorosos equilíbrios químicos hormonais. Em diversas plantas tem-se verificado a participação dos cinco fitormônios já citados na formação dos frutos ou em outros processos fisiológicos.

Contudo, tem sido observado que o balanço hormonal das plantas pode ser alterado pela presença e ação de microorganismos patógenos (GREENE 1980).

Assim, sabe-se que alguns tipos de fungos podem promover no hospedeiro, como resultado da infestação, altos níveis de hormônios. Isto tem sido demonstrado em relação ao AIA, GA, etileno e citocininas.

Outra característica destas substâncias é a de agir a nível fisiológico em concentrações muito baixas, normalmente na ordem de μg por kg de peso fresco, o que, obviamente, tem obrigado ao uso de métodos analíticos e de isolamento bastante sofisticados.

O problema das concentrações não deixa de ter sua importância, sobretudo considerando-se que a sensibilidade de um órgão a um determinado regulador do crescimento pode variar dentro da planta. Assim, uma concentração "x" de AIA pode ter uma ação inibitória sobre o crescimento da raiz e uma ação estimulante no crescimento do caule. Um outro exemplo é do ABA, que, em concentrações baixas, estimula o fechamento estomático, mas, em concentrações maiores, promove a defoliação. Em geral, tem-se verificado que as concentrações superiores às aquelas de respostas ótimas têm efeitos inibitórios.

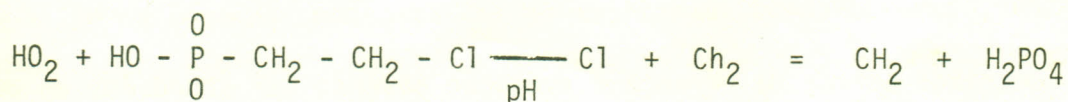
Estas observações têm desencadeado uma intensa pesquisa no campo dos reguladores do crescimento, visando à sua aplicação na agricultura.

Estas pesquisas (BEULIEUR *et al.*) estão relacionadas não apenas com determinados efeitos na planta (desfolhamento, inibição da transpiração, prolongação do período de dormência, quebra da dormência, enraizamento, partenocarpia, etc.), como também com sua forma de penetração, persistência e translocação.

Outros reguladores (sintéticos) do crescimento:

- Ácido finilacético
- Ácido fenoxiacético
- Ácido 2,4, 5 triclorofenoxiacético (2, 4, 5T)
- Ácido cacodílico
- Kinetina
- Benzil adenina (BA)
- Amo 1618
- CCC
- Fosfon D
- Hidrazia maleica
- Etefon (Ethrel)

Dos reguladores do crescimento mencionados, 2, 4 D; 2, 4, 5T e Ethrel têm sido usados comercialmente para prolongar o fluxo do látex. Tem-se verificado que a resposta ao Ethrel tem sido superior. Este último composto, quando aplicado perto do corte no painel da seringueira, difunde-se através do tecido e, mediante uma reação de hidrólise, se decompõe, liberando: etileno, íon, fosfato e cloreto. A equação é:



Dos produtos desta composição, o etileno é o principal responsável pelo fluxo maior de látex.

Qualquer produto aplicado, pois, sobre o painel que tenha a capacidade de desdobrar-se em etileno deveria ter, analogamente, efeito sobre a estimulação do

fluxo do látex. Entre os precursores do etileno em plantas superiores, podem-se citar a metionina e o ácido linoleico. O ácido linoleico é um ácido graxo insaturado $C_{17}H_{31}COOH$ e que, como o ácido linoleico $C_{17}H_{29}COOH$ sob a forma de éster glicérico, encontra-se muito difundido na natureza: azeites de linhaça e cânhamo.

Através da sangria não se está apenas drenando as moléculas que vão constituir a própria natureza da borracha, mas também elementos minerais. Estes elementos encontram-se em pequenas quantidades no volume total do látex por corte, mas sua saída constante e intensificada pela ação do Ethrel (Tabela 3), requererão a aplicação de adubação para compensar as perdas.

No campo dos reguladores, é importante frisar que a atividade destas substâncias, sejam naturais ou sintéticas, dependem estreitamente das condições de aplicação, estado fisiológico da planta e das interações com outros reguladores e moléculas.

TABELA 3 - Efeito de diferentes tratamentos sobre a produção e drenagem de nutrientes no clone PB-86.

TRATAMENTO	PRODUÇÃO Kg/ha/ano	DRENAGEM DE NUTRIENTES Kg/ha/ano			
		N	P	K	Mg
Não estimulado	1390	9,4	2,3	8,3	1,7
2, 4, 5T (1%)	1966	11,9	3,1	11,3	2,1
Ethrel (10%)	2570	23,9	7,2	22,3	4,1

Fonte:

III - HERANÇA E EVOLUÇÃO

Conceitos acerca da herança e evolução deverão ser abordados em outro artigo.

LITERATURA CONSULTADA

- BEAULIEU, R.; GUERN, M.; MOREL G.; DESAYMARD, P.; BEAUCHESNE, G.; MADEC, P.; CANETTO, R.; CHOLLET, P.; LONGCHAMP, M.; ROGNON, J.; PICARD, M.; BRIAN, C.; DECOURTYE, L. & COIC, Y. *Reguladores de crecimiento*. Burcelong Oikos-tau S. A., 1973. 245p.
- CASTRO, T. A. P. *Efeito do deficit hídrico sobre a fotossíntese e a respiração, em Phaseolus vulgaris L. e Phaseolus bracteolatus D. C.* Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1977, p. 25 (Tese Mestrado).
- GREENE, E. Cytokinin production by microorganisms. *The Botanical Review*, 46(1):25-75. 1980.
- LARCHER, W. Carbon utilization and dry matter production. In: _____. *Physiological plant ecology*. Berlin - N. York, Springer - Verlag, 1975, p. 41-42.
- LEOPOLD, A. C. & KRIEDEMANN, P. E. The dynamics of growth. In: _____. *Plant growth and development*. New Delhi, Tata McGraw-Hill, 1975, cap.3.
- ROCHA NETO, O. G. *Eficiência no uso de água, em plantas jovens de seringueira (Hevea brasiliensis Muell Arg.) submetidas a "deficit hídrico"*. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1979, pag. 21 (Tese Mestrado).
- STREET, H. E. & Opik H. Growth: process and pattern. In: _____. *The Physiology of flowering plants: their growth and development*. London, Edward Arnold (Publishers), 1970, cap. 8.
- SUTCLIFFE, J. F. & BAKER, D. A. Distribution of ions. In: _____. *Plants and mineral salts*. London. Edward Arnold, 1974, cap. 5.
- THIMANN, K. V. Cell enlargement and growth. In: _____. *Hormone action in the whole life of plants*. United States of América, the University of Massachusetts Press, 1977, cap. 3.
- WHITTINGHAN, C. P. Fotorespiración. In: _____. *El mecanismo de la fotosíntesis*. Madrid, H. Blume, 1976, cap. 3.
- WOOLHOUSE, H. W. *Ageing processes in higher plants*. London, Oxford. University Press. Oxford Biology Readers (série 30), 1972, p. 7.