

PHYSIOLOGIA VEGETAL

ALIMENTAÇÃO MINERAL

TUFI COURY

Assistente Interino da 2.ª cadeira
na E. S. A. "Luiz de Queiroz"

A planta é uma machina synthetica, elaborando suas proprias substancias, á custa de compostos mineraes relativamente simples, que ella obtem do solo e do ar, tendo como fonte energetica a luz solar, principalmente.

E' natural que, para o conhecimento dos elementos necessarios á vida de uma planta, mistér se faz analysal-a. Secca-se o vegetal ao ar, a seguir a 100°C e logo após incinera-se. A calcinação, deve ser convenientemente conduzida, para evitar perdas (K e Na), que viriam falsear os resultados. Nessa operação o C, H, N e O desprendem-se sob a forma de compostos gazosos. Os outros elementos ficam constituindo as cinzas. Nestas, geralmente, encontram-se, então, Ca, K, Mg, P, S, Fe, Si, B, Zn, Cl, Na, Mn, Al, commumente na forma de oxydos ou anhydridos.

Isto não significa, todavia, que todos esses elementos sejam imprescindiveis, visto que, variam de planta para planta e de região para região.

Verificou-se, que o desenvolvimento normal das plantas, póde ser obtido em soluções aquosas nutritivas, contendo saes

de K, Ca, Mg, Fe, S, P e N. O carbono, hydrogenio e o oxygenio são retirados do ar e da agua. A esses dez elementos indispensaveis, cuja necessidade á nutrição das plantas foi evidenciada em meados do ultimo seculo, por Knop e Sachs, atravez de classicas experiencias, outros foram acrescentados : Mn, Zn, B, e Si. Antigamente suppunha-se que estes quatro elementos eram superfluos, accumulando-se na planta só pelo facto de se acharem nas soluções do solo. Este accrescimo no numero de elementos necessarios á planta, foi o resultado de experiencias de cultura de plantas em soluções nutritivas, conduzidas com saes, cuidadosamente purificados, das infimas porções de impurezas que pudessem conter. Afim de prevenir a dissolução de elementos que se achassem no vidro do recipiente, a sua parte interna era revestida de uma camada de parafina. E' provavel que futuras investigações com substancias melhor purificadas, revelem a necessidade de outros elementos, embora em doses homeopathicas, elementos esses que agora apparecem esporadicamente.

E' preciso notar que a quantidade relativa de um ou outro elemento nas cinzas da planta, de fôrma alguma indica o gráu de necessidade da planta, com relação ao referido elemento.

Assim, a planta vingia bem sem Na, elemento que existe em cinzas de quasi todos os vegetaes, e ás vezes abundantemente. Por outro lado, a presença de traços de Mn e B é absolutamente necessaria. Posto que uma planta contenha uma quantidade consideravel de silica em suas cinzas, só uma insignificante parte é realmente necessaria.

O estudo qualitativo da nutrição mineral da planta é feito em soluções nutritivas. Para se trabalhar com soluções nutritivas usam-se vasos cobertos com rolhas de cortiça, com uma abertura em fôrma de cunha, que permita afastar a planta do centro á beira do vaso, á medida que se desenvolve. Ha fôrmas variadas de soluções nutritivas. Se trabalharmos com uma serie de vasos, onde haja variações assim : um vaso com solução dos saes indispensaveis ; um vaso com a falta dos elementos (P), um com a falta de K, e assim por diante, verificamos que o desenvolvimento é normal somente no primeiro, enquanto

que nos outros é minimo (não nullo, em virtude de encontrar-se um pouco do elemento faltoso nas reservas mineraes da semente). A falta completa não permite sequer o desenvolvimento do vegetal.

Foi por esse meio, que se chegou a verificar a acção de cada elemento na planta, mas mesmo assim, não se sabe ao certo o papel real representado dentro do organismo vegetal por elles, onde uma serie de transformações toma logar.

Nesse campo o que se sabe é o seguinte: os elementos das cinzas podem ser divididos em dois grupos distinctos: metalloides, como S e P e metaes como K, Ca, Mg e Fe. Os dois grupos se distinguem nitidamente, quanto ao modo de se comportarem dentro do organismo vegetal, como veremos posteriormente.

O enxofre e o phosphoro são encontrados combinados com as mais importantes substancias organicas do protoplasma. Ambos os elementos entram na composição das substancias proteicas, sendo o enxofre encontrado em quasi todas as proteínas, ao passo que o phosphoro só nas mais complexas, como as nucleo proteínas. São elles absorvidos sob a forma respectiva de anions SO^4 e PO^4 , absorpção esta que se verifica quando estão no maximo de oxydção, isto é $+6$ (no H^2SO^4) e $+5$ (no H^3PO^4).

Os metaes, ao contrario, acham se nas plantas na fórma de ions livres. Isto é particularmente real no caso do K, pois que 90 a 98 % desse elemento acham-se na forma ionica e póde, por consequinte, ser extrahido da substancia secca pela agua, sem necessidade de queimar e tratar com HCl. Os elementos metaes representam o papel de reguladores dos processos vitaes. Todavia, esta não é a unica funcção dos metaes. Alguns compostos organo-metalicos, acham se nas partes mais importantes das cellulas, onde exercem uma funcção verdadeiramente vital. O Mg, por exemplo, é achado na molecula da chlorophylla. Por esta razão, no minimo, alguns desses metaes devem ser considerados como substancias nutritivas.

De outro lado o P póde se achar na forma mineral. Nas folhas, 50 % do P são encontrados na fórma de H^3PO^4 livre

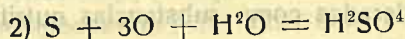
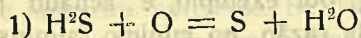
e, durante a germinação das sementes, ha uma quasi completa desintegração de todos os compostos organicos do P.

Em geral, a separação dos elementos das cinzas em dois grupos distinctos, como substancias nutritivas e reguladoras dos processos vitaes, indica com mais clareza a funcção que podem assumir na vida da planta. E' preciso, todavia, não esquecer que os elementos em algumas combinações podem pertencer a um ou a outro grupo.

O ion SO^4 é absorvido pela planta, penetrando pelas raizes, sem soffrer modificações. Sobee com a agua atravez dos vasos, attinge as folhas e alli, com o N e carbohydratos, forma a molecula proteica. Ao mesmo tempo, ha um processo de reducção, pois na molecula de proteina o enxofre acha-se ligado ao C e H e não ao O. Não se sabe, por óra, o mechanismo de tal reducção. O S, nas proteínas, acha-se ligado a amino-acidos especiaes, como a cysteina. Os animaes alimentam-se de vegetaes e pela morte de ambos, pela putrefação da materia organica no solo ou algures, o enxofre é retirado da molecula da proteina, na forma de acido sulphydrico (H^2S), justamente como o nitrogenio é libertado na forma de NH^3 . Mas o H^2S (valencia do S—2) não é util ás plantas, sendo muito toxico ás raizes; torna se util quando oxydado a H^2SO^4 , devido á actividade de uma bacteria especifica, denominada sulfo-bacteria, que só vive em ausencia de materia organica.

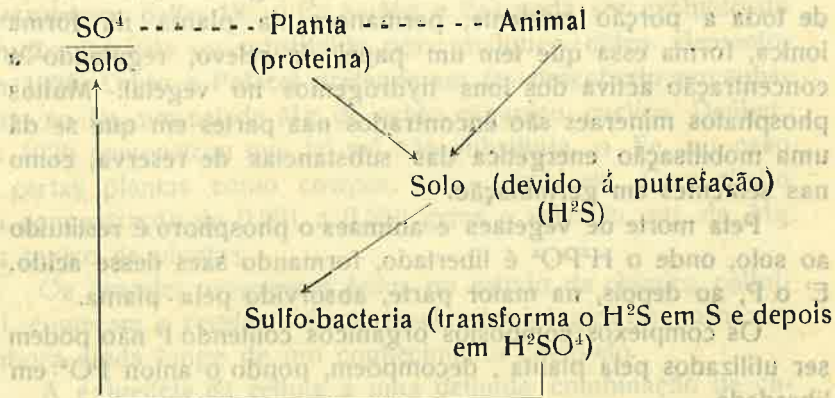
A sulfo-bacteria atravez da oxydação do H^2S em H^2SO^4 , aproveita a energia do phenomeno, que é necessaria para a decomposição do CO^2 e para a constituição da substancia propria. Esta oxydação se verifica em duas phases distinctas.

O H liga-se ao O, deixando livre o S e formando H^2O . O enxofre livre fica em forma de gottinhas brilhantes, dentro das cellulas bacterianas. Isso é representado pelas reacções:



Como se vê, o enxofre é oxydado, em seguida a H^2SO^4 .

O SO^4 , então, no solo é absorvido pela planta, etc., formando o cyclo do enxofre, que é eschematicamente representado assim :



E', portanto, o enxofre um verdadeiro alimento, pois que entra na composição de productos organicos.

Como o enxofre, o phosphoro tambem é util e indispensavel ás plantas, sómente na sua maior oxydação, Isto é, na de H^3PO^4 ou saes respectivos; Schreiner, em 1925, admite tambem a absorpção de P, até um certo limite, na forma organica, especialmente na forma de acido nucleico.

Concorre o P para a formação da lecithina, acido nucleico e nucleo-proteinas, substancias essas que existem praticamente em todas as cellulas vivas.

O P em forma de PO^4 é levado para as folhas e com o concurso de carbohydratos, N e S, forma as nucleo proteinas (sub grupo do grande grupo das proteidas ou proteinas conjugadas). Assim as nucleo-proteinas ficam constituídas por C, H, O, N, S e P.

Parece que o P mantem sempre a sua valencia maxima (+ 5 no anion PO^4), pelo facto de só ser encontrado na forma de ions PO^4 e ésteres de H^3PO^4 , como por exemplo a phytina (inosite hexaphosphato de Ca e Mg), substancia medicamentosa, utilizada para supprir a falta de phosphoro no organismo animal.

Tambem o P apparece nos lipoides sob a forma conjugada (phospho-lipoides), como na lecithina (ester glycerophosphorico, cujos hydroxilos alcoolicos estão saturados por acidos

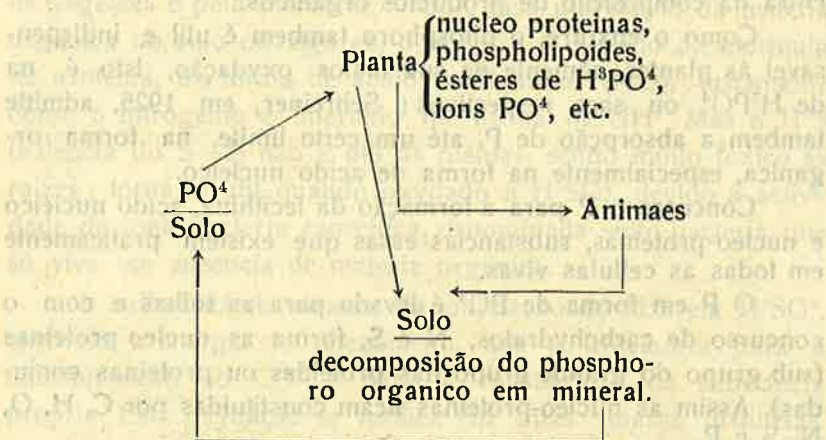
graxos, como o estearico, oleico, palmitico. . e cujo hydroxilo do H^3PO^4 é saturado pela cholina).

Uma parte consideravel do H^3PO^4 , algumas vezes 50% de toda a porção existente, permanece na planta na forma ionica, forma essa que tem um papel de relevo, regulando a concentração activa dos ions hydrogenios no vegetal. Muitos phosphatos mineraes são encontrados nas partes em que se dá uma mobilisação energetica das substancias de reserva, como nas sementes em germinação.

Pela morte de vegetaes e animaes o phosphoro é restituído ao solo, onde o H^3PO^4 é libertado, formando saes desse acido. E' o P, ao depois, na maior parte, absorvido pela planta.

Os complexos compostos organicos contendo P não podem ser utilizados pela planta ; decompõem, pondo o anion PO^4 em liberdade.

Cyclo do Phosphoro na Natureza



METAES : — (cathions) K, Ca, Mg e Fe. — Reguladores das funções vitaes.

Importancia do seu papel e actividade específica no organismo da planta : — O papel dos cathions, na vida das plantas, é mais complexo e menos comprehendido do que os anions PO^4 e SO^4 . Usualmente, os cathions se acham no organismo vegetal em forma livre.

Ficou provado por culturas em soluções nutritivas que uma determinada combinação de cathions é absolutamente indispensavel para o desenvolvimento normal de uma planta e que nenhum delles (K — Ca — Mg e Fe) pode ser excluido da solução nutritiva ou substituido por qualquer outro elemento. Em 1920, Oddo e Polacci pretenderam ter descoberto um substituto ao Fe, um sal de Mg de acido organico cyclico. Deuber, em 1926 demonstrou que tal sal não substitua o Fe no caso de certas plantas como cowpee, soja, trigo, etc. Com effeito em concentração de 0,001 a 0,250 grms o referido sal de Mg era toxico ás plantas.

Os grandes progressos feitos no estudo da chimica colloidal, começam a revelar a importancia physiologica dos cathions, embora ainda longe de um conhecimento completo.

A exigencia da cellula a uma definida combinação de cathions torna difficil o estudo do papel especifico de cada um delles. Excluindo da solução nutritiva um ou outro dos elementos pode-se assegurar que o desenvolvimento da planta é obstado. Em uma experiencia feita com trigo sarraceno foram obtidos os seguintes resultados:

N'uma solução nutritiva completa — Peso da Planta 138,0			
”	”	”	sem K “ “ “ 9,2
”	”	”	sem Ca “ “ “ 1,3
”	”	”	sem Mg “ “ “ 5,1
”	”	”	Sem Fe “ “ “ 7,3

Seria erro concluir destes resultados que os elementos, excluidos os que tiveram um menor decrescimo (Fe, K), são mais necessarios do que os outros. Todos são igualmente indispensaveis e a differença de peso póde ser attribuida a quantidades diferentes dos cathions em stock na semente, ou mesmo ausencia de um delles, que poderia acarretar desequilibrios no organismo vegetal.

E' preciso admittir que muito pouco é definitivamente conhecido, e provado, quanto as funcções especificas dos cathions e dos varios disturbios, causados pela ausencia delles. O que está estabelecido como verdade é que cada um dos cathions tem sua acção especifica e não pode ser substituido por outro,

mesmo um de propriedades quasi identicas e que se ache estreitamente aparentado no mesmo grupo do systema periodico. Assim o K não póde ser substituido pelo Li ou Na, a despeito de ter propriedades physicas e chemicas quasi analogas ; contudo alguns fungos permitem uma substituição parcial de K por Rb (Rubidio). O Ca tambem não póde ser substituido por nenhum dos seus companheiros alcalino-terrosos e o Fe não póde ser nem pelo Co ou Ni.

Potassio: — Acha-se estreitamente ligado á actividade vital do protoplasma, visto como é encontrado abundantemente no meristema dos orgãos novos, tecido esse, cujas cellulas são ricas de protoplasma e de grande actividade. E' attribuido ao K um grande papel no metabolismo geral da cellula, especialmente na formação de carbohydratos (photosynthese) e proteínas. Nas cinzas das partes activas (brótos, folhas novas, etc.) da planta, perto de 50 % de K_2O são encontrados. O K tambem favorece a deposição do amido, nos orgãos de reserva. Dos cathions indispensaveis ao vegetal o K é o unico elemento radioactivo. Porisso alem de função reguladora póde (devido ás suas propriedades radioactivas) ter outro papel ainda não esclarecido.

Magnésio: — A percentagem de Mg na cinza é consideravelmente menor que a do K. Como o K, o Mg é encontrado principalmente nas sementes e orgãos novos, onde constitue 10 a 15 % da cinza obtida. Sua função physiologica é evidentemente semelhante á do K. Ademais; o Mg se acha presente em alguns dos mais importantes compostos organo-metalicos, como por exemplo a chlorophylla. Acima de 50 % de Mg, póde ser encontrado combinado, enquanto que o K se acha quasi totalmente, na forma de ions' livres.

Calcio: — Parece que este elemento só é necessario aos vegetaes superiores ; assim, os fungos e bacterias (organismos sem chlorophylla) não exigem Ca. O Ca é abundante nas partes velhas das plantas, na casca e folhas velhas. Um dos papeis mais importantes do Ca é provocar a neutralisação do venenoso acido oxalico, que se forma na planta como sub-producto no

metabolismo, em consequencia de oxidações internas. Tanto é verdade que encontramos nos tecidos vegetaes, cristaes de oxalato de calcio

Tambem attribuem ao Ca uma influencia no desenvolvimento do vegetal. E' exigido mesmo em pequena proporção, visto que, se o Ca for excluido de uma solução nutritiva, o vegetal alli cultivado não possui bom desenvolvimento radicular.

Ferro: — E' absolutamente indispensavel á formação da chlorophylla, embora não esteja integrada na molecula da mesma. A sua acção aqui é catalytica. Verificou se este facto eliminando se o Fe de uma solução nutritiva, o que tornou a planta chlorotica. Se pincelarmos uma folha amarella com sulfato de ferro, a chlorophylla forma-se em 1/2 hora. E' indispensavel o Fe, mesmo nos vegetaes não chlorophyllados, apesar de em pequena porção (em solução nutritiva bastam algumas gottas de $FeCl_3$), dahi admittirmos tenha outras funcções, como por exemplo, agente catalysador nos processos de oxydação estreitamente ligados ao crescimento e especialmente na respiração.

Alem dos 4 elementos K, Mg, Ca e Fe, devemos citar os cathions Mn, Zn, B e Si. O Mn parece ter uma funcção mais ou menos identica a do Fe. O Mn, Zn, B e Si são tambem indispensaveis á planta, embora em quantidade infima, mesmo leves traços. Isto ficou patenteado quando se trabalhou com reagentes purificados no mais alto grau nas soluções nutritivas, onde a ausencia destes 4 cathions reflectiu-se desfavoravelmente no crescimento da planta.

Por esta razão devemos contar estes cathions como agentes catalyticos, como o Fe, necessarios ao vegetal. O B, Zn e Mn quando em excesso tornam-se prejudiciaes, intoxicando a planta.

Johnston e Dore (1929) descobriram que o B é essencial para o desenvolvimento normal de uma cultura de tomate. Actualmente, os experimentadores americanos procuram augmentar a producção de tomate pela incorporação de B ao solo; experiencias acuradas estão sendo feitas nesse sentido e os serultados são animadores.

Antigos physiologistas achavam que o Si tinha importancia capital na nutrição das Gramineas. Experiencias posteriores provaram que os silicatos causavam um augmento na assimilação dos phosphatos. Nemeç (1927) verificou que a quantidade de H^3PO^4 assimilado pela planta é proporcional a porção de silicatos soluveis em agua no solo.

Propriedades toxicas de simples saes e soluções balançadas

O estudo da acção especifica dos cathions, separadamente, tornou-se mais complicado, em virtude de outro importante factor — a toxidez de soluções, contendo só um dos saes usados numa solução nutritiva completa. Se dividirmos as raizes de uma planta em 4 partes de modo a permittir, que cada parte seja posta numa solução em separado de cada um dos quatro saes, que entram na composição da solução de Knop, então ao envez de se desenvolverem normalmente, morrem intoxicadas. O mesmo succederá se cada um dos saes fôr posto, por seu turno, numa solução assim: durante a 1.^a semana um dos saes, noutra semana outro sal e assim por diante.

O effeito toxico de simples saes foi observado por Loeb em em animal marinho. Soluções de NaCl, correspondendo em concentração á da agua do mar eram de toxidez, pronunciada, se sal muito puro fosse utilizado. Todavia, adicionando-se a solução de NaCl, pequenas quantidades de Ca e Mg, o effeito toxico desaparecia. Numa solução pura de NaCl, por exemplo, nem um simples embrião se desenvolvia, dos fecundos ovos do ouriço do mar; mas, a addição de 1 c. c. de uma solução bastante diluida de $CaSO^4$, causava o desenvolvimento de 3 0/0 dos embriões; 2 c. c., 20 0/0 e 4 c. c., 75 0/0. As soluções puras de saes de Ca tambem são toxicas, embora possamos impedir isso com a addição de saes de Na. Por conseguinte, diferentes saes destróem mutuamente seus effeitos toxicos. Este phenomeno foi chamado "*antagonismo dos ions*".

O antagonismo dos ions pode ser observado facilmente no desenvolvimento de raizes em soluções nutritivas, Assim, se fizéssemos 4 soluções aquosas, uma só com NaCl, outra só com CaCl², uma 3.^a com NaCl e CaCl² e uma ultima com NaCl, CaCl² e mais KCl verificaríamos que nas 2 primeiras o desenvolvimento das raizes foi pobre, quasi nullo, na 3.^a um desenvolvimento medio, e um optimo desenvolvimento observou-se na 4.^a, onde havia 3 cathions diferentes Na, Ca e K. Um maior antagonismo ionico é usualmente notado entre cathions mono e bivalentes. Comtudo ions de igual valencia podem ser antagonicos. Geralmente, quanto maior fôr a valencia do ion, tanto menor será a concentração requerida para o efeito antagonico (Principio dos Equivalentes).

Escolhendo-se diferentes concentrações dos varios ions, podemos obter uma combinação ideal que proporcionaria um desenvolvimento perfeito de um organismo qualquer. Uma optima combinação assim é o que denominaremos uma "*solução balanceada*".

Para os animaes e algas marinhas, uma solução mineral balanceada corresponde exactamente á agua do mar, que se aproxima algo em sua composição aos saes que se acham no sangue e lymph. Isto levou Loeb a dizer, que todos nós carregamos em nosso organismo uma parte do oceano, onde outrôra se produziu a vida animal.

Soluções balanceadas são usadas nas culturas artificiaes, experiencias de Physiologia vegetal, etc.

Sobre o Azoto dedicaremos opportunamente um artigo especial.

REFERENCIAS

Aulas de Chimica Agricola do Dr. José de Mello Moraes
— Prof. Cathedratico da 2.^a Cadeira na E. S. A. "L. Q."

MAXIMOV — Text-book of Plant Physiology.

MILLER — Plant Physiology.

BARTON-WRIGHT — Recent advances in Plant Physiology.

DEHERAIN — Traité de Chimie Agricole.