

PREMIER MINISTRE
COMMISSARIAT A
L'ÉNERGIE ATOMIQUE

**EFFETS DU SULFATE DE MAGNESIUM
SUR L'ABSORPTION FOLIAIRE
DE PHOSPHATES
CHEZ LE POTIRON**

par

A. CHAMEL

avec la collaboration technique de M.T. ROUX-AUBERT

Rapport C.E.A. n° 2232

1962

CENTRE D'ETUDES
NUCLEAIRES DE GRENOBLE

CEA 2232 - CHAMEL A.

EFFETS DU SULFATE DE MAGNESIUM SUR L'ABSORPTION FOLIAIRE
DE PHOSPHATES CHEZ LE POTIRON (1962)

Sommaire.- Nous avons étudié l'absorption foliaire de phosphates marqués au ^{32}P appliqués, avec et sans sulfate de magnésium, sur la première feuille de jeunes plants de potirons.

Le sulfate de magnésium appliqué avec le phosphate diminue nettement le taux d'absorption du ^{32}P .

CEA 2232 - CHAMEL A.

EFFECTS OF MAGNESIUM SULPHATE ON FOLIAR ABSORPTION OF
PHOSPHATES IN PUMPKINS (1962)

Summary.- We were study foliar absorption of ^{32}P that have been deposited with and without magnesium sulphate on the initial leave of pumpkin seedlings.

When magnesium sulphate is applied together with phosphate, this definitely reduces the rate of absorption of ^{32}P .

- Rapport C. E. A. n° 2232 -

Laboratoire de Biologie Végétale

EFFETS DU SULFATE DE MAGNESIUM SUR L'ABSORPTION FOLIAIRE
DE PHOSPHATES CHEZ LE POTIRON

par

A. CHAMEL

avec la collaboration technique de M. T. ROUX-AUBERT

EFFETS DU SULFATE DE MAGNESIUM SUR L'ABSORPTION FOLIAIRE DE PHOSPHATES CHEZ LE POTIRON

Si l'utilisation des isotopes radioactifs a permis de nombreuses recherches dans l'étude de l'absorption des éléments nutritifs par les feuilles, les principaux résultats obtenus ont pour objet le comportement d'un élément appliqué isolément, sous forme d'un sel en solution. On peut envisager la "fumure foliaire" non seulement comme moyen de fournir un élément pour remédier à une carence, mais aussi comme moyen d'apporter à la plante un supplément d'éléments durant certaines périodes critiques (floraison, etc...), sous forme d'une solution nutritive plus ou moins complète, vaporisée sur les parties aériennes à un moment où la fumure par le sol serait moins efficace.

Mais si plusieurs composés chimiques sont mélangés dans la vaporisation, on peut s'attendre à des interactions entre les divers constituants de la solution, et dans ce cas le taux d'absorption d'un élément donné sera différent suivant qu'il est appliqué isolément ou avec d'autres composés. Jusqu'ici cette question de l'absorption simultanée de plusieurs éléments n'a fait l'objet que de quelques expériences et les résultats sont encore fragmentaires.

Les études de PARKER [5] sur la déficience en zinc du citron, et celles de DICKEY, DROSDOFF et HAMILTON [5] sur la déficience en cuivre de l'abrasin (*Aleurites cordata*), ont montré que l'addition de chaux aux vaporisations de sulfate de zinc et de sulfate de cuivre permettait, en produisant une précipitation sur la surface des feuilles, d'assurer une plus faible absorption de ces éléments. La chaux constituait un "agent de protection" car avec de tels éléments la quantité nécessaire pour prévenir une déficience est très faible, par contre des brûlures peuvent résulter d'une trop forte absorption.

De même, HAAS [5] éliminait les blessures du feuillage de citronnier, dues à de fortes concentrations d'urée, lorsqu'il ajoutait de la chaux à la solution, et, MACK et SHAULIS [5] réduisaient la blessure causée aux feuilles de vigne par l'urée, en combinant l'urée à la bouillie bordelaise (sulfate de cuivre et chaux hydratée). Dans ces deux cas, les sels de calcium réduisaient l'absorption de l'urée.

MONTELARO, HALL et JAMISON [5] ont étudié l'effet du sulfate de magnésie (sel d'Epsom) sur le taux d'absorption de l'urée par les feuilles de tomate ; en abaissant le taux d'absorption de l'urée, le sulfate de magnésium permettait lui aussi de réduire les dommages causés aux

feuilles par les pulvérisations d'urée. Chacun de ces composés semblait influencer l'absorption de l'autre quand les deux étaient mélangés dans la solution vaporisée. Si dans certains cas l'absorption d'un élément est ralentie lorsqu'il est appliqué avec d'autres composés chimiques, dans d'autres cas, elle n'est pas modifiée, et parfois même, elle est stimulée. Ainsi THORNE [27], étudiant l'effet de l'absorption foliaire d'un élément nutritif sur le prélèvement d'autres éléments, par les feuilles et par les racines, conclut de ses expériences avec l'azote, le phosphore et le potassium, que l'absorption d'un élément nutritif par les feuilles n'est pas affectée par la présence d'autres éléments dans la vaporisation. Et GRETCHOVNIKOV et KIRIUKINE [12], dans une étude sur la pénétration et la diffusion du radiophosphore dans les plantes de pommes de terre par alimentation extra-radiculaire, ont montré que l'utilisation du phosphore en solution avec le sulfate de cuivre, le manganèse, le potassium, l'hétéroauxine et 2,4 D stimulait l'efficacité de la fertilisation extra-radiculaire phosphatée.

Dans cette étude nous nous proposons d'étudier l'absorption foliaire de phosphates marqués au ^{32}P en présence de sulfate de magnésium. Si l'absorption foliaire de chacun de ces deux sels, appliqués isolément, a déjà été mise en évidence par de nombreux auteurs, (1, 2, 3, 4, 7, 11, 13, 14, 15, 17, 18, 19, 21, 22, 23, 25, 26, 29, 31, 32, 33, 34, 35, 36), elle n'a par contre jamais été étudiée, lorsqu'ils sont appliqués.

MATERIEL ET METHODES

Matériel végétal

Les graines de Potiron (Cucurbita maxima, variété jaune Gros de Paris) sont mises à germer en serre sur du terreau enrichi d'un peu d'engrais ("Vegetora"). Pendant la germination (8 jours environ), les pots sont maintenus dans un bac de sable thermostaté à 20° C. Après ce temps, ils en sont retirés mais restent en serre pendant deux semaines environ. Quelques jours avant leur mise en expérience, les jeunes plants sont rangés dans un bac installé dans une pièce de notre laboratoire. Ce bac est entouré d'une enceinte en polyvinyle ventilée intérieurement, qui permet d'assurer un meilleur contrôle de la température et de l'humidité. Une intensité lumineuse de 1 600 à 2 100 Lux est obtenue grâce à des tubes fluorescents (tubes "Blanc Super" 40 watts). On obtient une humidité suffisante en maintenant constamment quelques centimètres d'eau au fond du bac.

Sil'on veut obtenir des résultats quantitatifs et précis il est important d'expérimenter en milieu conditionné, avec un matériel végétal abondant. Avant chaque expérience nous avons prêté beaucoup d'attention à la constitution de lots aussi identiques que possible en choisissant seulement les plantes dont l'état physiologique semblait satisfaisant ; chacun d'eux comprenait alors un minimum de 6 plantes.

Méthodes d'application des solutions marquées :

Nous avons traité, dans nos expériences, la face supérieure de la première feuille de chaque plante. Nous avons opéré de deux façons différentes :

a) on applique sur la partie médiane du limbe de chaque feuille une petite boucle métallique allongée et enrobée de colle, puis on dépose à l'intérieur de la boucle, à la micropipette de précision, 0,1 ml de solution marquée. Ce procédé permet d'obtenir des surfaces d'application égales (environ 2 cm²) pour les différents échantillons, et élimine les risques de perte du liquide contaminé le long des nervures. En fin d'expérience la petite boucle est détachée et débarrassée de son revêtement de colle par un diluant. La mesure de sa radioactivité permet d'apprécier l'adsorption.

b) on utilise un petit vaporisateur : un écran en polyvinyle, troué sur une surface circulaire (de diamètre 3 ou 5 cm) permet de maintenir constante la surface vaporisée et d'éviter la contamination du reste de la plante. De fines marques, préalablement tracées à l'encre de chine, permettent de repérer la surface traitée au moment du lavage.

Technique du lavage foliaire:

En fin d'expérience, la feuille traitée est détachée et placée à l'intérieur d'un entonnoir.

Elle est lavée rapidement à l'eau permutée au moyen d'une pipette surmontée d'une propipette. Le liquide de lavage est recueilli dans des erlenmeyers. Nous avons déterminé précédemment ¹⁾ le volume d'eau nécessaire pour débarrasser la portion foliaire traitée de l'élément non absorbé. Pour chaque feuille nous réalisons trois lavages successifs avec les volumes d'eau suivants : 10 cm³, 30 cm³, 10 cm³. Nous mesurons séparément l'activité de chaque fraction. Les mesures d'activité réalisées à partir du faible volume de liquide de la première fraction permettent d'obtenir une bonne précision dans le calcul de l'activité des eaux de lavage, car la plus grande partie de l'élément non absorbé est récupérée dans le premier lavage de 10 cm³. La mesure d'activité de la dernière fraction permet de vérifier l'efficacité du lavage.

Préparation des échantillons pour les mesures de radioactivité :

Chaque plante est divisée en deux lots : l'un constitué par la feuille traitée, l'autre par le reste de la plante y compris les racines qui sont lavées rapidement à l'eau lorsque la plante est dépotée.

Les échantillons végétaux, après avoir été coupés en petits fragments, sont desséchés à l'étuve à 50-55° C pendant 15 heures environ dans des capsules en porcelaine, puis ils sont calcinés au four à moufle à 500° C pendant 1 heure. Les cendres sont alors traitées à l'acide nitrique décinormal (1 cm³ pour la feuille et 3 cm³ pour la plante). La solution est répartie dans de petites coupelles métalliques. Après décantation, elles sont évaporées à sec sur une plaque chauffante portée à faible température. A chaque plante correspondent 4 coupelles : une pour la feuille traitée et trois pour le reste de la plante ; ce qui permet d'effectuer les mesures d'activité sur des échantillons minces, pour lesquels l'auto-absorption est négligeable.

Les mesures de radioactivité sont effectuées à l'aide d'un compteur GM 13 A 7.

Nous mesurons l'activité des liquides de lavage dans des coupelles semblables aux précédentes, après évaporation de 2 cm³ de liquide.

Expression des résultats :

Détermination du taux d'absorption :

Nous considérons que la quantité d'élément absorbé pendant un temps donné, correspond à l'activité totale fournie à chaque feuille, diminuée de l'activité des liquides de lavage.

Dans le cas où la solution nutritive est déposée à la micropipette, il est possible de connaître avec précision l'activité totale fournie.

Si pour une plante on désigne par A l'activité fournie, par L l'activité récupérée par le lavage, et par P l'activité de la plante (feuille traitée et parties non traitées), le taux d'absorption en pourcentage de l'activité fournie peut s'exprimer par :

$$\frac{P}{A} \times 100 \text{ si l'on mesure P directement, ou par } 100 - \frac{L \times 100}{A} \text{ si l'on évalue P par la mesure de}$$

1) Rapport en cours de publication.

l'activité des liquides de lavage. Mais dans le cas où la solution est vaporisée, il est difficile de connaître avec précision le volume de la solution appliquée à chaque feuille. Nous considérons alors que l'activité totale fournie est représentée par la somme de l'activité des liquides de lavage et de l'activité totale de la plante y compris la feuille traitée. Le taux d'absorption s'exprime par :

$$\% \text{ absorbé} = \frac{P}{P + L} \times 100$$

Nous avons vérifié dans nos expériences qu'il n'y avait pas élimination du radioélément par le sol, et nous avons réalisé toutes les mesures d'activité sur des échantillons homogènes.

Détermination de la translocation :

Nous exprimons le transport par le pourcentage de l'activité de la plante dans les parties autres que la feuille traitée, par rapport à l'activité totale de la plante, feuille traitée comprise.

Si on désigne par F l'activité de la feuille traitée, par R l'activité du reste de la plante (parties aériennes et souterraines), le transport s'exprime par :

$$\% \text{ transporté} = \frac{R}{R + F} \times 100$$

EXPERIENCES REALISEES - RESULTATS ET DISCUSSION

Le phosphore 32, fourni par le Service des Radioéléments Artificiels de Saclay, sous forme de phosphate de sodium en solution neutre isotonique (NaCl 9 pour mille) était administré avec un mélange à parties égales en millimoles par litre (mM/l) de phosphate monosodique et de phosphate disodique. L'activité variait de 1 à 3 microcuries (μc) par millilitre.

Dans une première expérience nous avons ajouté à la solution phosphatée (10 mM/l) trois concentrations différentes de sulfate de magnésium (0 - 1 mM/l - 10 mM/l), avec quelques gouttes de Teepol comme agent mouillant. Nous avons déposé la solution à la micropipette.

Après 48 heures d'absorption à la lumière, toutes les feuilles traitées présentaient des brûlures. Les résultats obtenus sont reportés dans le tableau I :

Tableau I : Effet du sulfate de magnésium sur l'utilisation de phosphates (10 mM/l) marqués au ^{32}P appliqués sur la première feuille de jeunes plants de Potiron.

	Sol. phosphatée avec ^{32}P sans SO_4Mg	Sol. phosphatée avec ^{32}P + $\text{SO}_4\text{Mg}(1\text{ mM}/1)$	Sol. phosphatée avec ^{32}P + $\text{SO}_4\text{Mg}(10\text{mM}/1)$
	n = 6	n = 7	n = 7
Absorption (valeur moyenne en %)	$61,3 \pm 3,6$	$59,4 \pm 2,0$	$60,8 \pm 2,5$
Transport (valeur moyenne en %)	$8,8 \pm 0,8$	$8,8 \pm 1,4$	$11,1 \pm 1,0$

1) \pm : erreur type de la moyenne $\sigma_m = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$
n : nombre de plantes utilisées dans chaque lot.

les différences entre les valeurs moyennes de l'absorption et du transport ne sont pas significatives ($P = 0,05$).

Nous avons donc réalisé une seconde expérience, mais en vaporisant les différentes solutions. Nous avons utilisé deux concentrations différentes de phosphates (10 mM/l : tableau II ; et 50 mM/l : tableau III), et pas d'agent mouillant.

Au moment du lavage, après 48 heures d'absorption à la lumière, les feuilles traitées ne présentaient aucune brûlure visible. Les résultats obtenus sont reportés dans les tableaux II et III.

Tableau II : Effet du sulfate de magnésium sur l'utilisation de phosphates (10 mM/l) marqués au ^{32}P vaporisés sur la première feuille de jeunes plants de Potiron.

	Sol. phosphatée avec ^{32}P sans SO_4Mg I		Sol. phosphatée avec ^{32}P + SO_4Mg (1mM/l) II		Sol. phosphatée avec ^{32}P + SO_4Mg (10mM/l) III	
	A n = 6	B n = 6	A n = 7	B n = 7	A n = 6	B n = 7
Absorption (valeur moyenne en %)	1) 52,1 \pm 4,8	49,8 \pm 2,1	32,7 \pm 3,6	30,8 \pm 2,7	23,6 \pm 1,4	11,1 \pm 1,4
Transport (valeur moyenne en %)	n = 5 19,6 \pm 2,1	17,6 \pm 0,8	10,2 \pm 1,9	14,0 \pm 0,9	9,1 \pm 2,0	4,0 \pm 0,8

- Les expériences A et B sont reportées séparément car les surfaces vaporisées n'étaient pas identiques dans les deux cas.

- Les différences relevées entre les valeurs moyennes de l'absorption et les valeurs moyennes du transport sont toutes significatives ($P = 0,05$) sauf en ce qui concerne le transport, lorsqu'on compare les groupes II et III de l'expérience A.

n : nombre de plantes utilisées dans chaque lot.

\pm : erreur type de la moyenne $\sigma_m = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$.

Tableau III : Effet du sulfate de magnésium sur l'utilisation de phosphates (50 mM/l) marqués au ^{32}P , vaporisés sur la première feuille de jeunes plants de Potiron.

	Sol. phosphatée avec ^{32}P sans SO_4Mg	Sol. phosphatée avec ^{32}P + SO_4Mg (10mM/l)	Sol. phosphatée avec ^{32}P + SO_4Mg (50mM/l)
	n = 6	n = 6	n = 6
Absorption (valeur moyenne en %)	41,8 \pm ¹⁾ 6,0	20,7 \pm 3,9	8,2 \pm 1,2
Transport (valeur moyenne en %)	12,8 \pm 1,4	13,0 \pm 1,5	9,1 \pm 2,1

- Les différences entre les valeurs moyennes de l'absorption sont significatives, les différences entre les valeurs moyennes du transport ne sont pas significatives ($P = 0,05$).

n = nombre de plantes utilisées dans chaque lot.

1) \pm : erreur type de la moyenne $\sigma_m = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$.

Dans la première expérience (tableau I), le sulfate de magnésium ne semble pas modifier l'absorption du phosphate marqué. Comme dans cette expérience les feuilles traitées présentaient des brûlures, on peut penser que la cuticule, les membranes cellulaires et le protoplasme ayant été profondément affectés dans leur constitution physicochimique, la pénétration s'est effectuée rapidement par simple diffusion.

Dans la seconde expérience (tableaux II et III), le sulfate de magnésium appliqué avec le phosphate diminue nettement le taux d'absorption du phosphore ^{32}P ; cette diminution semble d'autant plus importante, pour une concentration définie de phosphates, que la concentration en sulfate de magnésium est plus forte.

En ce qui concerne le transport, les valeurs reportées dans le tableau I correspondant à un même taux d'absorption, sont très voisines, ce qui montre que le sulfate de magnésium n'affecte pas sensiblement le transport. On peut donc supposer que les variations du transport observées dans le tableau II sont dues essentiellement aux taux d'absorption différents constatés dans cette expérience; le pourcentage transporté étant le plus élevé lorsque le taux d'absorption est maximum. Cependant les valeurs moyennes du transport portées dans le tableau III, ne permettent pas les mêmes constatations pour une forte concentration en phosphates. Mais dans les

deux cas il apparaît que la quantité d'élément transporté hors de la feuille traitée est d'autant plus importante que la quantité d'élément absorbé est plus forte.

Le mécanisme par lequel le sulfate de magnésium réduit le taux d'absorption du phosphate n'est pas connu. La difficulté de donner une explication satisfaisante est due au fait que les mécanismes de l'absorption foliaire ne peuvent être définis qu'en partie et seulement pour quelques uns des éléments nutritifs. Déposées sur la surface d'une feuille, les gouttelettes de solution sèchent et la plupart des sels forment des cristaux constituant un précipité. Cependant les expériences poursuivies lorsque les solutions vaporisées sont sèches, indiquent que le processus d'assimilation ne doit pas s'arrêter avec la formation de ce précipité. Selon BARINOV et RATNER [4], les sels ne précipitent pas complètement, mais restent partiellement sur la feuille sous forme d'une solution saturée dont la formation dépend de la solubilité et des propriétés hygroscopiques des sels, du degré d'humidité de l'air et peut-être aussi de la transpiration ; l'assimilation serait possible à partir du film liquide de la solution saturée. L'action du sulfate de magnésium sur l'absorption du phosphate par les feuilles pourrait intervenir à différents stades : soit dans une première phase, probablement passive, et caractérisée par des phénomènes de surface : adsorption, imbibition et perméabilité des membranes, soit dans une seconde phase correspondant à la pénétration proprement dite.

Les effets du pH et du cation entraîneur, considérés du point de vue de la nature des ions phosphate et du degré de dissociation moléculaire, la sensibilité aux inhibiteurs suggèrent que dans le cas du phosphate, du sulfate et du chlorure, cette pénétration se fait, soit par un mécanisme d'échange, soit par un processus d'absorption actif. De même dans l'absorption foliaire du sodium, potassium, calcium et magnésium, les taux d'absorption rapide et quelques indications sur l'effet du pH suggèrent la participation d'un échange d'ions [33].

Une étude plus généralisée de l'absorption par les feuilles, de différents sels présents dans une même solution, ajoutée à la connaissance des nombreux facteurs qui conditionnent cette absorption, devrait permettre une meilleure compréhension du mécanisme, encore mal connu, de l'absorption des solutions nutritives par les feuilles.

- BIBLIOGRAPHIE -

- [1] ASEN S. , WITWERTER S.H. , HINSVARK O.N.
Foliar absorption and translocation of radiophosphorus by Chrysanthemum morifolium - Proc. Amer. Soc. Hort. Sci., 62, 466-70, 1953.
- [2] BARINOV G.V. , RATNER E.I. ,
Some features of the assimilation of substances through the leaves after foliar applications - Fiziol. Rast. (Eng. Transl.), 6, 333-340, 1959.
- [3] BARRIER G.E. , LOOMIS W.E. ,
Absorption and translocation of 2,4 Dichlorophenoxyacetic acid and ^{32}P by leaves - Plant Physiol., 32, 225-231, 1957.
- [4] BIDDULPH O. ,
Translocation of inorganic solute - Plant Physiology. A Treatise, Ed. F.C. STEWARD, vol. II, 553-603, Academic Press, N.Y. and London, 1959.
- [5] BOYNTON D. ,
Nutrient by foliar application - Ann. Rev. Plant. Physiol., 5, 31-54, 1954.
- [6] BROYER T.C. , STOUT P.R. ,
The macronutrient elements - Ann. Rev. Plant Physiol., 10, 277-300, 1959.
- [7] BUKOVAC M.J. , WITWERTER S.H. ,
Absorption and mobility of foliar applied nutrients - Plant Physiol., 32, 428-435, 1957.
- [8] CHAMEL A.
Etude de l'absorption, de la translocation et de l'accumulation des éléments minéraux à travers l'appareil aérien de quelques végétaux à l'aide des isotopes ^{32}P et ^{35}S - Diplôme d'Etudes Supérieures - Grenoble, 1960.
- [9] COLLANDER R.
Selective absorption of cations by higher plants - Plant Physiol., 16, 691-720, 1941.
- [10] DEAN BYDING C. , CURRIER H.B.
Foliar penetration by chemicals - Plant Physiol., 36, 2, 169-174, 1961.
- [11] FISHER E.G. , WALKER D.R.
The apparent absorption of phosphorus and magnesium from sprays applied to the lower surface of McIntosh Apple leaves - Proc. Amer. Soc. Hort. Sci., 65, 17-24, 1955.
- [12] GRETCHOVNIKOV A. , KIRIUKINE V.
La pénétration et la diffusion du radiophosphore dans les plantes de pommes de terre lors de l'alimentation extra-radiculaire. (en russe) (résumé en français) - V. Selskokhozyaistvennai Nauk (URSS), 12, 115-120, 1961.
- [13] JYUNG W.H. ,
Foliar absorption of mineral nutrients with special reference to the use of radioisotopes and the "leaf washing technique" - Ph. D. Thesis Mich. State Univ., 1959.

- [14] KOONTZ H. , BIDDULPH O.
Factors affecting absorption and translocation of foliar applied phosphorus -
Plant Physiol. , 32, 463-470, 1957.
- [15] LONG W.G. , TEUBNER F.G. , WITTWER S.H. , LINDSTROM R.S.
The effects of internal and external factors upon foliar absorption and distribution
of radiophosphorus, potassium and rubidium in plants - Plant Physiol. , 30 : XVIII
(suppl.), 1955.
- [16] MONTELARO J. , HALL C.B. , JAMISON F.S.
Effect of magnesium sulfate on the rate of absorption of urea by tomato leaves -
Proc. Amer. Soc. Hort. Sci. , 62, 363-366, 1953.
- [17] NORTON R.A.
Nutrition of the Strawberry (*Fragaria* spp.) with special reference to foliar absorp-
tion of radiophosphorus and calcium - Ph. D. Thesis, Mich. State Univ. , 1954.
- [18] OLAND K. , OPLAND T.B.
Uptake of magnesium by Apple leaves - Physiol. Plant. , 9, 401-411, 1956.
- [19] OLIVER W.F.
Absorption and translocation of phosphorus by foliage - Sci. Agr. , 32, 8, 427-432,
1952.
- [20] OVERBEEK (J. Van)
Absorption and translocation of plant regulators - Ann. Rev. Plant. Physiol. , 7,
355-372, 1956.
- [21] SCHOPMEYER C.S.
Absorption and translocation of foliarly applied phosphorus by loblolly pine seedlings
Plant Physiol. , 36: XXXIII (suppl.), 1961.
- [22] SILBERSTEIN O. , WITTWER S.H.
Foliar application of phosphatic nutrients to vegetable crops - Proc. Amer. Soc.
Hort. Sci. , 58, 179-190, 1951.
- [23] SOSA-BOURDOUIL C. , LECAT P.
Emploi des éléments marqués en physiologie végétale. II Données et problèmes de
nutrition des plantes par le système foliaire. Année Biol. , 32, 341-369, 1956.
- [24] STEWARD F.C. , SUTCLIFFE J.F.
Plants in relation to inorganic salts - Plant Physiology - A Treatise,
Ed. F.C. STEWARD, Vol. II, 253-465, Academic Press N.Y. and London, 1959.
- [25] TEUBNER F.G. , WITTWER S.H. , LONG W.G. , TUKEY H.B.
Some factors affecting absorption and transport of foliar applied nutrients as revealed
by radioactive isotopes - Mich. State Univ. Agr. Expt. Sta. Quart. Bull. , 39, 3,
398-415, 1957.
- [26] THORNE G.N.
Absorption of nitrogen, phosphorus, and potassium from nutrient sprays by leaves -
J. Expt. Bot. , 5, 13, 37-48, 1954.
- [27] THORNE G.N.
Interactions of nitrogen, phosphorus and potassium supplied in leaf sprays or in
fertilizer added to the soil - J. Expt. Bot. , 6, 16, 20-42, 1955.

- [28] THORNE G.N.
The effect of applying a nutrient in leaf sprays on the absorption of the same nutrient by the roots - J. Expt. Bot., 8, 24, 401-412, 1957.
- [29] THORNE G.N.
Factors affecting uptake of radioactive phosphorus by leaves and its translocation to other parts of the plant - Annals of Bot., 22, 381-398, 1958.
- [30] THORNE G.N., WATSON D.J.
Uptake of nutrients from solutions sprayed on leaves - Rothamsted Exp. Stat. Rep., 66-68, 1953.
- [31] TUKEY H.B., WITTWER S.H.
The entry of nutrients into plants through stem, leaf and fruit, as indicated by radioactive isotopes - Progress in nuclear Energy, Biological Sciences, Series Six, 106-114, Mc. Graw Hill, N.Y., and Pergamon Press, London, 1956.
- [32] TUKEY H.B., WITTWER S.H., BUKOVAC M.J.
Absorption of radionuclides by aboveground plant parts and movement within the plant - J. Agr. Food Chem. 9, 2, 106-112, 1961.
- [33] TUKEY H.B., WITTWER S.H., TEUBNER F.G., LONG W.G.
Utilization of radioactive isotopes in resolving the effectiveness of foliar absorption of plant nutrients - International Conference on the Peaceful Uses of Atomic Energy, Vol. 12, 138-143, United Nations, N.Y., 1956.
- [34] WITTWER S.H.
Nutrient uptake with special reference to foliar absorption - Atomic Energy in Agriculture, 49, 139-164, AAAS Washington D.C., 1957.
- [35] WITTWER S.H., TEUBNER F.G.
Foliar absorption of mineral nutrients - Ann. Rev. Plant. Physiol., 10, 13-32, 1959.
- [36] WITTWER S.H., TEUBNER F.G., Mc CALL W.W.
Comparative absorption and utilization by beans and tomatoes of phosphorus applied to the soil and foliage - Proc. Amer. Soc. Hort. Sci., 69, 302-308, 1957