

Absorption et redistribution de ^{32}P appliqué sur feuille de goyavier

William Natale^{a*}
Antonio Enedi Boaretto^b
Takashi Muraoka^b

^a FCAV/UNESP,
Dpto. Solos e Adubos,
14870-000 Jaboticabal,
SP, Brésil

^b CENA/USP,
Caixa Postal 96,
13400-970 Piracicaba,
SP, Brésil

Radioactive phosphorus uptake and redistribution in guava trees when directly applied to the leaves.

Abstract — Introduction. Because phosphorus fertilizers applied to the soil have little impact on fruiting perennial plants, adding phosphorus to phytosanitary sprayings applied directly to guava trees was tried to determine its effectiveness. **Material and methods.** To ascertain the effect of phosphorus foliar applications, the leaves were covered with an aqueous solution of monoammonium phosphate at 2% with a specific activity of ^{32}P equal to $0.15 \mu\text{Ci}\cdot\text{mL}^{-1}$. The marked phosphorus was examined in the plant during the 30 d following the application. **Results.** The quantity of applied phosphorus absorbed by the plant 20 d after the application leveled off at about 12%. About 20% of the phosphorus absorbed by the leaves was redistributed in the plant, mainly in the most tender parts of the guava tree. **Conclusion.** It is feasible to provide phosphorus to guava trees by applying combined fertilizers and phytosanitary products directly to the foliage. This technique improves phosphorus uptake by guava trees and, at the same time, may reduce the cost of production. (© Elsevier, Paris)

Psidium guajava / fertilizer application / tracer techniques / phosphorus / radioisotopes / nutrient uptake

Absorption et redistribution de ^{32}P appliqué sur feuille de goyavier.

Résumé — Introduction. Étant donné le peu d'effet reconnu de l'épandage d'engrais phosphaté sur les plantes pérennes en période de fructification, on a cherché à savoir si l'adjonction de phosphore aux pulvérisations phytosanitaires pouvait être intéressante pour la fertilisation du goyavier. **Matériel et méthodes.** Pour suivre la dynamique du phosphore appliqué aux feuilles, celles-ci ont été mouillées ponctuellement avec une solution aqueuse de phosphate monoammonique à 2 % présentant une activité spécifique de ^{32}P égale à $0,15 \mu\text{Ci}\cdot\text{mL}^{-1}$. Puis, le phosphore marqué a été recherché dans la plante pendant les 30 d qui ont suivi cette application. **Résultats.** La quantité de phosphore appliqué absorbée a stagné autour de 12 % au bout de 20 d après l'application. Environ 20 % du phosphore absorbé par les feuilles ont été redistribués dans la plante, principalement aux parties les plus jeunes du goyavier. **Conclusion.** Il est possible de fournir du phosphore au goyavier par des applications conjointes d'engrais et de produits phytosanitaires par voie foliaire. Cette technique permet d'améliorer l'absorption du phosphore par la plante et peut réduire le coût de production. (© Elsevier, Paris)

Psidium guajava / fertilisation / technique des traceurs / phosphore / isotope radioactif / absorption des substances nutritives

* Correspondance et tirés à part
natale@fcav.unesp.br

Reçu le 30 janvier 1998
Accepté le 24 mai 1998

Fruits, 1999, vol. 54, p. 23–29
© Elsevier, Paris

RESUMEN ESPAÑOL, p. 29

1. introduction

Le phosphore est un élément essentiel du métabolisme des plantes, principalement au cours de leur période de reproduction. Dans les régions tropicales où il y a une intense fixation du phosphore appliqué au sol, son absorption par les plantes n'avoisine que 30 % de la quantité apportée, de sorte qu'une partie de l'investissement en engrais n'a pas la retombée économique espérée. Par ailleurs, les phosphates naturels sont des ressources peu abondantes, sans renouvellement et sans substitut, qu'il faut donc utiliser avec efficacité [1].

En période de production, les plantes pérennes sont peu réceptives à l'engrais phosphaté [2]. Bien que l'application de macroéléments par voie foliaire ait été discutée [3–5], il y a des situations où le verger requiert des applications répétées de produits phytosanitaires ; dans de tels cas, l'engrais peut être combiné aux produits de traitement sans que les interventions ne soient plus nombreuses et, donc, sans augmenter les coûts de production. Selon Alexander [6], dans les cultures qui reçoivent souvent des pulvérisations phytosanitaires, l'application d'éléments nutritifs par voie foliaire est de plus en plus utilisée. D'après Malavolta [1], ce type d'application peut fournir les éléments exigés par la plante en petites quantités ($\text{g}\cdot\text{ha}^{-1}$), donc être surtout efficace pour les oligoéléments, exclusivement au travers des feuilles ; l'efficacité du traitement dépendra du type de culture et des conditions de mise en œuvre.

Dans le cas spécifique du goyavier, Natale [7] a observé que, à la récolte, il n'y avait que 121 g de phosphore exporté par tonne de fruits frais. Le même auteur a vérifié, à partir de 3 ans d'expérimentation dans un verger de goyaviers, qu'il n'y avait pas de réponse des plantes à la fertilisation phosphatée appliquée au sol (étude non publiée).

Le phosphore étant un élément rapidement absorbé par les feuilles [8–10] qui le redistribuent bien dans la plante [11] est, de ce fait, considéré comme un nutriment mobile [12,13] ; son application par voie

foliaire et, par conséquent, la suppression des traitements au sol, pourrait donc être une pratique viable autant du point de vue technique qu'économique. Cette supposition a constitué l'hypothèse de départ du travail présenté dont l'objectif a été de suivre, dans des goyaviers, la dynamique du phosphore appliqué par voie foliaire.

2. matériel et méthodes

Le matériel végétal utilisé a été constitué de boutures de goyavier (*Psidium guajava*, cv. Paluma) âgées de 8 mois. À un temps « *t* », les feuilles ont été mouillées avec une solution aqueuse de phosphate monoammonique (MAP) à 2 % (p/v) avec une activité spécifique de ^{32}P égale à $0,15 \mu\text{Ci}\cdot\text{mL}$. L'absorption et la distribution du phosphore marqué (^{32}P) ont alors été mesurées dans les plants traités durant 30 d après le jour de l'application.

Un prélèvement de matériel végétal traité a été effectué à 3, 6, 12 et 24 h après l'application de l'engrais sur les feuilles, puis à 2, 4, 10, 20 et 30 d après le jour de ce traitement. Pour chacun des prélèvements, l'échantillonnage a porté sur six plantes ; leurs racines ont alors été séparées de leur partie aérienne qui, elle-même, a été subdivisée en trois lots : partie (feuilles et tiges) ayant reçu l'application d'engrais, partie supérieure et partie inférieure aux feuilles traitées.

Les feuilles ayant reçu du phosphore marqué ont été lavées avant les mesures de dosage du radioélément. Pour cela, elles ont été découpées et plongées pendant 1 min dans 100 mL d'eau déionisée dans laquelle elles ont été doucement remuées. Cette opération a été renouvelée 3 fois. Après le troisième lavage, l'utilisation d'un scintillateur liquide (effet Cerenkov) a permis de vérifier qu'il n'y avait plus de ^{32}P dans l'eau.

Les comptages de la radioactivité présente dans les échantillons ont été corrigés en tenant compte de la décroissance normale de l'activité du ^{32}P et la dynamique du phosphore a été calculée en prenant pour base le pourcentage du comptage récupéré

(% cpm) par chacune des parties des goyaviers [9, 11] :

$$[\% \text{ cpm absorbé} = (\text{cpm récupéré} \times 100) / \text{cpm appliqué}]$$

Le pourcentage de phosphore dans la plante, provenant du fertilisant (% Pppf), a été obtenu par la formule :

$$[\% \text{ Pppf} = (\text{cpm} \cdot \text{g}^{-1} \text{ de P dans le matériel végétal} \times 100) / \text{cpm} \cdot \text{g}^{-1} \text{ de P du fertilisant}]$$

À partir des résultats obtenus, il a été possible d'établir quelques équations de régression, pour lesquelles le temps a été la variable indépendante et le ^{32}P récupéré, la variable dépendante.

3. résultats et discussion

Au cours des 30 d d'observation des plants traités, la quantité totale de phosphore mesurée dans les différentes parties des boutures de goyavier échantillonnées n'a présenté que de faibles variations non significatives (*tableau I*). La méthode de mesure de la teneur en phosphore total ne permet donc pas d'évaluer l'absorption de phosphore par les feuilles, ce qui s'explique par le fait que la quantité de phosphore provenant du fertilisant foliaire est faible par rapport à la quantité totale de P existant dans les plantes.

Cependant, si c'est le phosphore-32 qui est mesuré, dès le premier échantillonnage, soit 3 h après l'application foliaire, l'élément est déjà détecté dans les feuilles qui ont reçu l'engrais marqué (*tableau II*) ; cela confirme la rapide absorption de l'élément par la plante [8–11, 14, 15]. Dès ce premier échantillonnage également, le ^{32}P est trouvé dans les autres feuilles, branches et, de façon moindre, dans les racines des goyaviers ; le phosphore est donc bien un élément mobile [12, 16–18] qui circule dans la plante selon des voies ascendante ou descendante. Ces résultats sont appuyés par l'analyse de régression effectuée entre le temps écoulé depuis l'application (variable indépendante) et la quantité de ^{32}P dans les différentes parties des goyaviers (variable dépendante) qui a donné des coefficients de corrélation (r) très élevés pour les feuilles ayant reçu l'engrais marqué ainsi que pour celles situées au-dessus (*tableau II*).

Malgré la faible valeur du pourcentage de phosphore total, mis en évidence dans la plante, qui provient de la fertilisation foliaire (*tableau III*), la technique peut être viable en raison de la faible exigence en phosphore du goyavier [7] et des fréquentes applications de produits phytosanitaires réalisées sur les vergers [6]. Ces pulvérisations, réalisées pendant la période de développement végétatif, de floraison et de

Tableau I.

Évolution dans le temps de la quantité totale de phosphore ($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ de matière sèche) contenue dans différentes parties du goyavier au cours des 30 j qui suivent une pulvérisation de phosphore-32 (^{32}P) effectuée sur les feuilles à un temps « t » (moyenne de six répétitions par mesure).

Temps écoulé depuis l'application	Feuilles			Branches	Racines
	Traitées ^{32}P	Au-dessus	Au-dessous		
3 h	1,0	1,4	0,8	0,5	0,7
6 h	1,0	1,3	0,8	0,6	0,7
12 h	1,1	1,5	0,9	0,6	0,8
24 h	1,0	1,3	0,8	0,5	0,6
2 d	0,9	1,3	0,8	0,5	0,8
4 d	1,0	1,4	0,9	0,5	0,7
10 d	0,9	1,2	0,8	0,5	0,7
20 d	0,9	1,2	0,7	0,4	0,6
30 d	0,9	1,1	0,7	0,4	0,6

Tableau II.

Évolution dans le temps de la quantité de phosphore-32 (^{32}P) ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ de matière sèche) provenant d'une solution nutritive appliquée à des goyaviers à un temps « t », dans les différentes parties de plants échantillonnés (moyenne de six répétitions par mesure).

Temps écoulé depuis l'application	Feuilles			Branches	Racines
	Traitées ^{32}P	Au-dessus	Au-dessous		
3 h	30,9	0,2	4,8	0,4	< 0,1
6 h	24,8	0,2	5,2	0,4	< 0,1
12 h	30,4	0,1	0,2	0,3	< 0,1
24 h	31,0	0,1	1,8	0,2	< 0,1
2 d	35,9	0,2	0,1	0,4	< 0,1
4 d	33,9	0,5	0,1	0,8	0,3
10 d	51,1	0,6	3,2	1,5	1,6
20 d	81,5	1,1	0,2	0,5	0,4
30 d	72,9	0,7	0,1	0,4	0,4
Coefficient de corrélation	$r = 0,97^{**}$	$r = 0,96^{**}$	–	–	–

Tableau III.

Évolution dans le temps du pourcentage de phosphore-32 provenant d'une solution nutritive appliquée à des goyaviers à un temps « t », par rapport au phosphore total mesuré dans les feuilles (moyenne de six répétitions par mesure).

Temps écoulé depuis l'application	Feuilles			Branches	Racines
	Traitées ^{32}P	Au-dessus	Au-dessous		
3 h	3,0	< 0,1	0,6	< 0,1	< 0,1
6 h	2,6	< 0,1	0,6	0,1	< 0,1
12 h	2,6	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
24 h	3,3	< 0,1	0,2	< 0,1	< 0,1
2 d	4,0	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
4 d	3,4	< 0,1	< 0,1	0,2	< 0,1
10 d	5,7	< 0,1	0,5	0,4	0,2
20 d	9,6	< 0,1	< 0,1	0,1	< 0,1
30 d	7,8	< 0,1	< 0,1	0,2	< 0,1
Coefficient de corrélation	$r = 0,96^{**}$	–	–	–	–

début de fructification, permettent, par ailleurs, d'appliquer l'élément à un nombre maximal de feuilles.

Dans les feuilles qui ont reçu l'engrais marqué, la contribution du ^{32}P a atteint une valeur maximale de 9,6 % du phosphore total, 20 d après l'application.

Peu d'information étant disponible sur la biologie de cette myrtacée et sur l'influence que la phénologie des feuilles peut avoir sur l'absorption d'éléments [19], des observations supplémentaires ont été entreprises pour étudier l'aspect morphologique de la feuille de goyavier [20] :

a) les feuilles sont hypostomatiques, c'est-à-dire que les stomates ne sont présents qu'à leur face inférieure ;

b) l'hypoderme est composé de trois couches de cellules immédiatement situées sous l'épiderme et de cellules contenant des cristaux de silice (type druse) ;

c) il y a une grande quantité de fibres autour des faisceaux vasculaires.

Le goyavier étant une espèce tropicale disposant d'un mécanisme évolutif d'adaptation à l'économie d'eau, tous les facteurs décrits ci-dessus pourraient contribuer à une moindre absorption de phosphore. D'autre part, le fertilisant marqué a été appliqué sur la face supérieure des feuilles, c'est-à-dire sur celle n'ayant pas de stomates. La faible exigence en phosphore du goyavier [7] peut se trouver encore accrue par le fait d'une circulation continue du phosphore à travers toute la plante [18].

Les pourcentages d'utilisation du ^{32}P appliqué par voie foliaire, évalués par le pourcentage du comptage récupéré (% cpm absorbé), tendent à augmenter dans les feuilles qui ont reçu le fertilisant marqué, atteignant une valeur maximale de 10,19 %, 20 d après l'application (*tableau IV*). Dans des feuilles de haricot [10] et de canne à

sucré [11], près de 50 % du phosphore appliqué étaient absorbés rapidement, environ 2 d après ce traitement.

Par ailleurs, la quantité absorbée du phosphore marqué appliqué a stagné autour de 12 % au bout de 20 d (*tableau IV*). Une partie du phosphore absorbé par les feuilles a été transportée, spécialement vers les parties plus jeunes du goyavier, avec un pourcentage d'approximativement 20 % de ce qui a été absorbé.

La mise en corrélation du temps écoulé depuis l'application et du pourcentage du comptage récupéré dans les différentes parties de la plante permet de vérifier un effet quadratique entre les variables, le maximum étant atteint en 20 d environ (*tableau IV*). De manière générale, les résultats analysés concordent. Pour la plante entière, près de 94 % ($r = 0,97$) de la variation du taux de phosphore récupéré ont été expliqués par l'équation de régression.

4. conclusion

Les résultats obtenus à l'issue de cette étude sur la dynamique du phosphore dans

Tableau IV.

Évolution, au cours du temps, du pourcentage de phosphore-32 récupéré par des échantillons de goyavier, par rapport à la quantité de phosphore-32 appliquée sur les feuilles des plants à un temps « t » (moyenne de six répétitions par mesure).

Temps écoulé depuis l'application	Feuilles			Branches	Racines	Total
	Traitées ^{32}P	Au-dessus	Au-dessous			
3 h	3,45	0,04	1,43	0,22	0,01	5,15
6 h	2,91	0,03	1,38	0,38	0,02	4,73
12 h	3,68	0,03	0,03	0,16	0,02	3,92
24 h	3,34	0,04	0,41	0,11	0,03	3,93
2 d	4,83	0,06	0,02	0,24	0,03	5,18
4 d	4,42	0,13	0,04	0,58	0,11	5,28
10 d	7,23	0,20	0,74	0,79	0,45	9,41
20 d	10,19	0,49	0,07	1,71	0,15	12,61
30 d	9,04	0,28	0,05	0,37	0,18	9,92
Coefficient de corrélation	$r = 0,98^{**}$	$r = 0,95^{**}$	—	$r = 0,88^*$	$r = 0,90^{**}$	$r = 0,97^{**}$

la plante peuvent être utilisés pour la mise au point d'applications conjointes d'engrais et de produits phytosanitaires lors de traitements en vergers de goyaviers, possibilité qui avait été évoquée dans l'hypothèse de départ ayant motivé les travaux de recherches exposés. Ainsi, des tests préliminaires utilisant le phosphate monoammonique (MAP) marqué à 2 % ont été effectués conjointement à l'application de Dithane (0,2 %) ou de captane (0,2 %) qui sont les pesticides les plus utilisés en vergers de goyaviers. Selon les publications, il n'y aurait pas d'incompatibilité entre le fertilisant et les pesticides. Après 30 d'application, en utilisant les mêmes techniques de suivi de la dynamique du phosphore dans la plante que celles utilisées dans l'expérimentation présentée, l'absorption du ^{32}P a eu tendance à être améliorée. Une élévation du pH de la solution appliquée due à l'ajout de pesticide pourrait expliquer un tel résultat : le pH a été, en effet, de 4,3 pour la solution de phosphate monoammonique (MAP) seule, de 4,7 pour la solution associant MAP et Dithane et de 4,5 pour celle de MAP et captane. Chamel [21] avait déjà noté que le pH de la solution appliquée était l'un des facteurs pouvant intervenir dans l'absorption foliaire du phosphore.

Il serait donc faisable de remplacer les applications de phosphore au sol, dans les vergers de goyaviers, par des pulvérisations de P jointes aux traitements phytosanitaires. Outre une meilleure absorption du phosphate par la plante, cette méthode pourrait permettre de réduire les coûts de production. Une expérimentation in situ devrait permettre de confirmer cette conclusion.

remerciements

Les auteurs tiennent à remercier le FAPESP, Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo, pour son appui dans les différentes étapes de la réalisation de ce travail.

références

- [1] Malavolta E., Elementos de nutrição mineral de plantas, Ceres, SP, Brésil, 1980, 251 p.
- [2] Raij B. van, Silva N.M., Bataglia O.C., Quaggio J.A., Hiroce R., Cantarella H., Bellinazzi Junior R., Dechen A.R., Trani P.E., Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo, Instituto Agrônomo, Boletim Técnico N° 100, Campinas, SP, Brésil, 1985, 105 p.
- [3] Basso C., Wilms F.W.W., Adubação foliar em frutíferas de clima temperado, in: Simpósio Brasileiro de Adubação Foliar, 2^e, Botucatu, SP, Brasil, 1989, pp. 371–392.
- [4] Hiroce R., Dechen A.R., Adubação foliar em café, in : Simpósio Brasileiro de Adubação Foliar, 2^e, UNESP, Botucatu, SP, Brésil, 1989, pp. 335–365.
- [5] Boaretto A.E., Rosolem C.A., Adubação foliar: conceituação e prática, in: Simpósio Brasileiro de Adubação Foliar, 2^e, UNESP, Botucatu, SP, Brasil, 1989, pp. 301–320.
- [6] Alexander A., Optimum timing of foliar nutrient sprays, in: Alexander A. (Ed.), Foliar fertilization, Martinus Nijhoff, Dordrecht, Allemagne, 1986, pp. 44–60.
- [7] Natale W., Diagnose da nutrição nitrogenada e potássica em duas cultivares de goiabeira (*Psidium guajava* L.), durante três anos, thèse de doctorat, ESALQ/USP, Piracicaba, SP, Brésil, 1993, 150 p.
- [8] Barel D., Black C.A., Foliar application of P. I. Screening of various inorganic and organic P compounds, *Agronomy J.* 71 (1979) 15–21.
- [9] Boaretto A.E., Muraoka T., Rosa J.P.P., Absorção foliar de fósforo pelo feijoeiro: efeito de fontes, doses de uréia e sacarose, in: Seminário Regional sobre Técnicas Nucleares na Produção de Plantas Agrícolas, Piracicaba, SP, Brésil, 1984, Anais, pp. 125–131.
- [10] Boaretto A.E., Muraoka T., Cruz A.P., Daghlian C., Absorção de fósforo e enxofre pelas folhas do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.), *Turrialba* 36 (1) (1985) 107–117.
- [11] Boaretto A.E., Muraoka T., Absorção e translocação de fósforo (^{32}P) aplicado via foliar em cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.), *Científica* 17 (1) (1989) 35–42.
- [12] Morard M.P., Distribution du phosphore étudiée au moyen de l'isotope radioactif et par colorimétrie chez le sarrasin (*Fagopyrum esculentum*, var. La Harpe) cultivé sur solution nutritive, *C. R. Acad. Sci. Paris* 270 (1970) 2075–2077.
- [13] Menguel K., Kirkby E.A., Principles of plant nutrition, 3rd ed., International Potash Institute, Berne, Suisse, 1982, 655 p.

- [14] Boyton D., Nutrition by foliar application, *A. Rev. Pl. Physiol.* 5 (1954) 31–54.
- [15] Burovac M.J., Wittwer S.R., Absorption and mobility of foliar applied nutrients, *Plant. Physiol.* 32 (1957) 428–435.
- [16] Biddulph S.F., Visual indications of ^{35}S and ^{32}P translocation in the phloem, *Am. J. Bot.* 43 (1956) 143–148.
- [17] Biddulph O., Biddulph S., Cory R., Koontz H., Circulation patterns for phosphorus, sulfur and calcium in the bean plant, *Plant Physiol.* 33 (1958) 239–300.
- [18] Biddulph O., Translocation of inorganic solutes, in: Steward F.C. (Ed.), *Plant physiology, a treatise*, Academic Press, NY, USA, 1959, pp. 553–605.
- [19] Leece D.R., Kenworthy A.L., Influence of epicuticular waxes on foliar absorption of nitrate ions by apricot leaf disks, *Australian J. Biol. Sci.* 25 (1972) 641.
- [20] Natale W., Moro F.V., Influência de características morfológicas das folhas de goiabeira (*Psidium guajava* L.) na eficiência de pulverizações foliares de nutrientes, in: Simposio Brasileiro sobre a Cultura da Goiabeira, 1, UNESP, Jaboticabal, SP, Brasil, 1997, pp.168.
- [21] Chamel A., Survey of different approaches to determine the behaviour of chemicals directly applied to aerial parts of plants, in: Alexander A. (Ed.), *Foliar fertilization*, Martinus Nijhoff, Dordrecht, Allemagne, 1986, pp. 66–86.

Absorpción y redistribución de ^{32}P aplicado en hoja de guayabo.

Resumen — Introducción. Considerándose lo poco que se admite el efecto de la fertilización fosfatada en suelo en las plantas perennes en temporada de fructificación, se intentó saber si la adición de fósforo a las pulverizaciones fitosanitarias podía resultar interesante para la fertilización del guayabo. **Material y métodos.** Para continuar la dinámica del fósforo aplicado a las hojas, se mojaron, éstas puntualmente con una solución acuosa de fosfato monomaniaco al 2% presentando una actividad específica de ^{32}P igual a $0,15 \mu\text{Ci}\cdot\text{mL}^{-1}$. Y luego, el fósforo marcado fue buscado en la planta durante los 30 días que siguieron esta aplicación. **Resultados.** La cantidad de fósforo aplicada absorbida se estancó alrededor de un 12% al cabo de 20 días después de la aplicación. Aproximadamente el 20% del fósforo absorbido por las hojas fue redistribuido en la planta, principalmente en las partes más jóvenes del guayabo. **Conclusión.** Es posible proporcionar fósforo al guayabo mediante aplicaciones conjuntas de fertilizantes y de productos fitosanitarios por vía foliar. Esta técnica permite mejorar la absorción del fósforo por la planta y puede reducir el costo de producción. (© Elsevier, Paris)

Psidium guajava / aplicación de abonos / técnicas de trazadores / fósforo / radioisotopes / absorción de sustancias nutritivas