

DISS. ETH NO. 18131

**MORPHOLOGICAL, PHYSIOLOGICAL AND BIOCHEMICAL  
ADAPTATION OF BRACHIARIA GRASSES TO  
LOW PHOSPHORUS SUPPLY**

A dissertation submitted to the

ETH Zurich

for the degree of

Doctor of Sciences

presented by

ANNA ELIZABETH LOUW-GAUME

M.Sc. (Biochemistry), University of Johannesburg, South Africa  
M.S. (Plant Biology), Rutgers State University of New Jersey, United States

February 15, 1964

citizen of South Africa

Accepted on the recommendation of

Prof. Dr. E. Frossard, examiner  
Prof. Dr. M. Kreuzer, co-examiner  
Dr. I.M. Rao, co-examiner  
Dr. A.J. Gaume, co-examiner

2009

## **Summary**

Adoption of *Brachiaria* forage grasses over the past four decades had a revolutionary impact on livestock productivity in tropical America. Signalgrass (*B. decumbens*) is well-adapted to acid soils of Latin America while ruzigrass (*B. ruziziensis*) is less-adapted. Phosphorus (P) deficiency is a major impediment to tropical pasture productivity and plants subjected to low P concentrations exhibit multiple adaptive responses. The thesis describes relationships between P nutrition and plant growth and development in signalgrass and ruzigrass grown in nutrient solution using the hydroxyapatite/dialysis pouch system which permits the slow and constant release of phosphate.

Root morphology and physiology are central to P efficiency and thus, patterns of root growth and root exudation of organic acid anions and acid phosphatases (APases) were investigated. Both grasses increased biomass allocation to roots when grown at low P supply. Ruzigrass also increased lateral root growth when grown at low P supply while lateral root growth remained constant for signalgrass irrespective of variation in P supply. A relationship between decreasing plant P concentrations and increasing rates of oxalate and APase exudation was found for both grasses. Grasses differed in the temporal dynamics of these responses as the faster-growing ruzigrass developed P deficiency at an earlier developmental stage. Oxalate was the dominant exuded organic acid anion for signalgrass and cell-wall-associated APases were strongly induced for ruzigrass when both grasses reached critical plant P concentrations of 0.1%. In addition, roots of both grasses had higher APase and phytase activities when growth at low P supply. However, phytases represented only a small proportion of the total pool of APases for both grasses.

Signalgrass was a slower growing grass with higher tissue mass densities, a trait that promotes stress tolerance. Signalgrass also had higher plant carbon concentrations and higher carbon-to-nitrogen ratios. Ruzigrass was more nutrient-responsive and showed strong biomass accumulation in response to P fertilization, but could not maintain its growth rate under conditions of very low P availability. In order to cope with P limitation, ruzigrass showed higher levels of phenotypic plasticity. Signalgrass was able to match nutrient uptake with nutrient demand, relying on mechanisms to maintain phosphate homeostasis including those for more optimal partitioning of P between shoot and root compartments. A slower growth rate, mechanisms for balanced growth and the dominance of exuded oxalate might contribute to the superior adaptation of signalgrass to low fertility acid soils.

## Résumé

L'adoption des graminées fourragères *Brachiaria* pendant ces quatre dernières décennies a eu un impact révolutionnaire sur la productivité de l'élevage de bétail en Amérique tropicale. La graminée fourragère *B. decumbens* est bien adaptée aux conditions des sols acides de l'Amérique latine alors que *B. ruziziensis* l'est moins. La déficience en phosphore (P) est une entrave majeure à la productivité des pâtures sous les tropiques et les plantes soumises à de faibles concentrations en P exhibent de multiples réponses d'adaptation. Cette étude décrit les relations entre la nutrition en P de *B. decumbens* et *B. ruziziensis*, cultivées en solution nutritive, et leur croissance et développement. Le système utilisé de poche de dialyse contenant de l'hydroxyapatite a permis une libération lente et constante de phosphate dans la solution nutritive.

Puisque la morphologie et la physiologie racinaire sont des éléments centraux de l'efficience en P, la croissance et le développement des racines ainsi que l'exsudation racinaire d'acides organiques, de leurs contre-ions et d'acides phosphatases ont été investigués. Les deux graminées ont accru l'allocation de biomasse aux racines et exsudé de l'oxalate et des acides phosphatases durant le développement de leur carence en P.

*Brachiaria ruziziensis* a également augmenté la croissance des racines latérales lors de faible apport en P alors que pour *B. decumbens* celle-ci restait constante irrespectivement du niveau de fertilisation en P. Pour les deux variétés un rapport existait entre une réduction de la concentration en P des plantes et une augmentation des taux d'exsudation racinaire d'oxalate et d'acides phosphatases. Les deux variétés diffèrent par rapport à la dynamique temporaire de ces réponses puisque *B. ruziziensis*, caractérisée par une croissance plus rapide, a développé une carence en P plus tôt pendant son développement. Oxalate était l'anion d'acide organique dominant exsudé par *B. decumbens* alors que les acides phosphatases associés aux parois cellulaires étaient fortement induits pour *B. ruziziensis* lorsque les deux graminées avaient atteint la concentration critique en P de 0.1%. De plus, les racines des deux variétés exhibaient de hautes activités en acides phosphatases et en phytases lors de faible apport en P, les phytases ne représentant cependant qu'une petite proportion du pool total des acides phosphatases pour les deux graminées fourragères.

*Brachiaria decumbens* a présenté une croissance plus lente ainsi qu'une densité des tissus plus élevée, une caractéristique qui favorise la tolérance au stress. *Brachiaria decumbens* était également caractérisée par des concentrations en carbone et des rapports C:N plus élevés. *Brachiaria ruziziensis* était plus réactive aux éléments nutritifs, et a arboré une forte accumulation de biomasse en réponse à la fertilisation en P, mais ne pouvait pas maintenir son taux de croissance lorsque le P du système devenait fortement limitant.

Afin de faire face à la limitation en P, *B. ruziziensis* a montré des taux plus élevés de plasticité phénotypique, alors que *B. decumbens* était capable de faire correspondre le prélèvement en éléments nutritifs à la demande, grâce à des mécanismes permettant de maintenir l'homéostasie du phosphate incluant ceux liés au partitionnement optimal du P entre les parties aériennes et les racines.

Un taux de croissance plus faible, des mécanismes permettant une croissance équilibrée et la domination de l'exsudation racinaire d'oxalate pourraient contribuer à une adaptation supérieure pour *B. decumbens* aux sols acides peu fertiles.