

# Potassium et Magnésium pour une meilleure tolérance au stress hydrique

*Olivier Goujard et Thomas Proffit, K+S KALI France*

---

Le changement climatique est un sujet d'actualité depuis plusieurs années maintenant. De nombreuses études traitent sur le sujet et posent des constats et perspectives qui peuvent nous inquiéter sur le futur. L'agriculture est à ce titre fortement exposée et se trouve face à un défi majeur dans certaines régions du monde (Ainsworth et Orth, 2010).

Le changement climatique que nous subissons s'illustre notamment par des périodes de sécheresse de plus en plus fréquentes comme celle du printemps 2011 en France ou encore celle de l'été 2012 aux Etats-Unis. Les conséquences sur les rendements des cultures peuvent être dramatiques. Cela a d'ailleurs eu pour conséquence la mise en place d'assurances récoltes permettant aux agriculteurs de compenser les pertes occasionnées ; mais celles-ci ne sont pas à la portée de tous et quid de leur avenir si les aléas climatiques viennent à se multiplier. Les laboratoires français de modélisation du climat ont regroupé leurs données et celles de Météo France (DRIAS) pour faire des projections régionales accessibles, illustrées en cartographie. On en ressort notamment une augmentation des températures moyennes et extrêmes à moyen et long termes ainsi qu'une diminution des précipitations dans nos régions. Le stress hydrique est le stress abiotique qui est le plus important au niveau global.

C'est dans ce contexte que K+S KALI a initié en 2009 des travaux de recherches sur l'impact de la fertilisation potassique et magnésienne sur la résistance des plantes cultivées au stress hydrique. Ces travaux ont été réalisés par quatre universités avec lesquelles K+S KALI collabore depuis plusieurs années déjà. Chacune de ces institutions ayant une spécialité : la nutrition de plantes pour l'Université de Giessen, la minéralogie des argiles et l'efficacité de l'eau pour l'Université de Halle-Wittenberg, la mécanique du sol pour l'Université de Kiel et le magnésium pour l'Université de Sabanci (Istanbul).

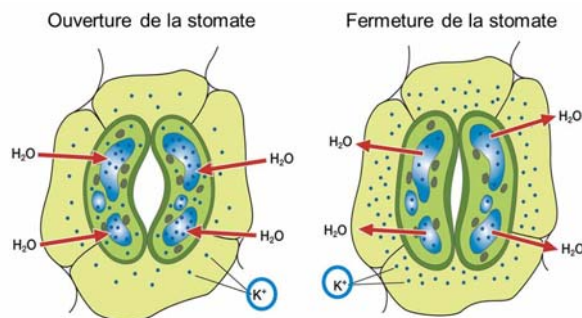
Parmi tous les éléments nutritifs, Potassium (K) et Magnésium (Mg) ont une influence particulière sur le statut hydrique des végétaux. Au sein de la plante, K et Mg ont des fonctions importantes, identiques ou distinctes vis-à-vis du statut hydrique, notamment en régulant (i) l'ouverture et la fermeture des stomates, (ii) l'ajustement osmotique de la plante (turgescence), (iii) et la croissance racinaire. En plus de ces 3 fonctions, l'université de Halle a mis en évidence un impact significatif du potassium sur la réserve utile du sol (Damm 2012). Cet article va présenter ces aspects en se basant sur les publications les plus récentes.

## La transpiration :

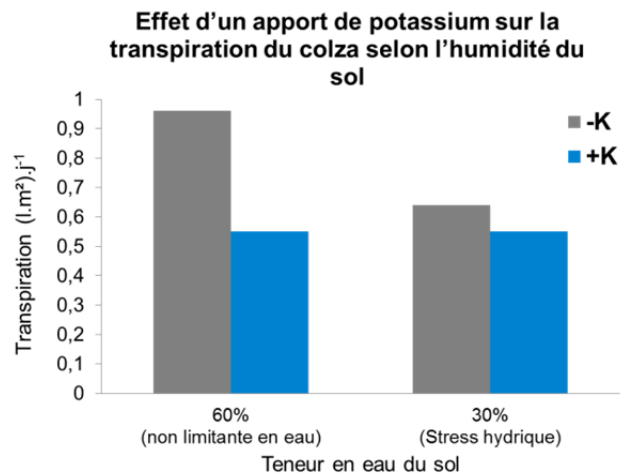
90 à 98% de l'eau absorbée par les plantes est perdue par transpiration sous forme gazeuse (S.Ravanel, Univ. Grenoble). Ce processus servant de moteur à l'ascension de la sève brute dans la plante. Ces pertes de vapeur d'eau par la plante se font à 95% par les stomates, sites des échanges gazeux ( $O_2$ ,  $CO_2$  et  $H_2O$ ). L'ouverture et la fermeture des stomates sont régulées par un flux osmotique d'ions  $K^+$  permettant la turgescence ou la plasmolyse des cellules de garde, véritable sas d'entrée et de sortie des gaz (figure 1). Parallèlement à ce rôle du potassium, il a été démontré que la conductivité stomatique était significativement réduite en cas de déficience en magnésium (Laing et al., 2000 ; Sun et al., 2001).

L'Université de Giessen (Fritz et al.2009) a revalidé des résultats connus sur le lien entre potassium et transpiration des plantes : une alimentation potassique normale permet de limiter la transpiration et donc les pertes en eau par le feuillage (graphique 1). Cela a été mesuré aussi bien en condition hydrique suffisante qu'en situation de stress.

Figure 1 : rôle du potassium sur l'ouverture et la fermeture des stomates (K+S KALI GmbH)



Graphique 1 : Fritz et al. 2009



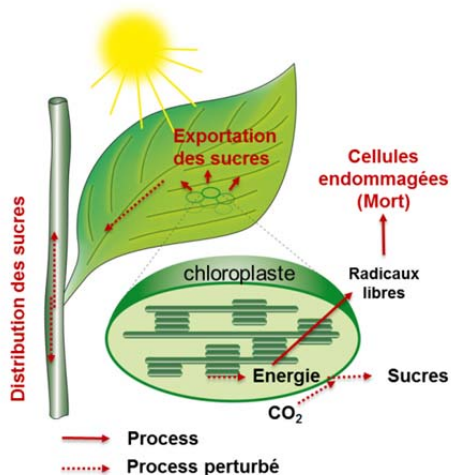
## Le transport des assimilés :

La photosynthèse est le processus fondamental des plantes conduisant à la synthèse d'hydrates de carbones (ou sucres) et par conséquent d'énergie utile à la croissance et au développement. Potassium et Magnésium sont tous deux essentiels pour la photosynthèse. Le magnésium est important en sa qualité de composant (atome central) de la molécule de chlorophylle, élément clé de la photosynthèse.

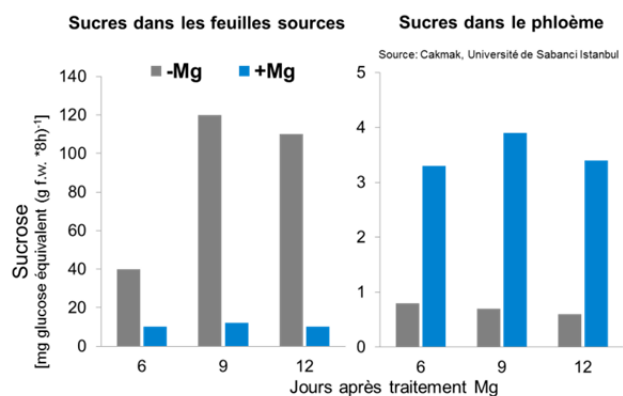
La régulation du pH est un facteur important pour le bon fonctionnement des enzymes photosynthétiques comme par exemple la ribulose-1,5-bisphosphate (RuBP) carboxylase impliquée dans la fixation du carbone. Potassium et magnésium permettent de construire un gradient de pH à travers les membranes des chloroplastes, nécessaire à la formation d'ATP lors de la photophosphorylation (Marschner, 2012). Cela a aussi pour conséquence que les radicaux libres oxygénés présents dans la feuille ne sont plus neutralisés, conduisant à un endommagement des cellules foliaires (Cakmak et al.) (figure 2).

$K^+$  et  $Mg^{2+}$  ne sont pas seulement nécessaires à la synthèse des photo-assimilats mais également à leur translocation via le phloème vers les organes puits (racines, fruits, méristèmes). Ce transport des sucres se déroule en 2 phases : le transfert des feuilles vers les cellules compagnes du phloème puis le transport par courant de masse (mass-flow). Le potassium est important dans les deux phases : il permet (i) de maintenir un pH élevé dans la sève, prérequis pour le chargement du phloème, et (ii) aide à construire le potentiel osmotique dans les vaisseaux du phloème (Marschner, 2011). Des études ont montré le rôle du magnésium dans le chargement du phloème (Hermans et al., 2005 ; Cakmak and Kirkby, 2008) et notamment la dépendance des pompes à proton  $H^+$ -ATPases aux  $Mg$ -ATPases. Le mécanisme n'est pas totalement compris et reste à éclaircir.

Figure 2 : Effet d'une carence en K et Mg sur la synthèse et distribution des sucres



Graphique 2 : Répartition des sucres en fonction de la teneur en Mg (Cakmak, 1994)



En conséquence, une carence en K et /ou Mg réduira la synthèse de sucres à travers la photosynthétique et à leur distribution dans la plante. Quelles sont les conséquences de cette perturbation de la distribution des photosynthétats pour la plante ? Et quel en est l'effet sur l'efficacité d'utilisation de l'eau par la culture ?

#### La croissance racinaire :

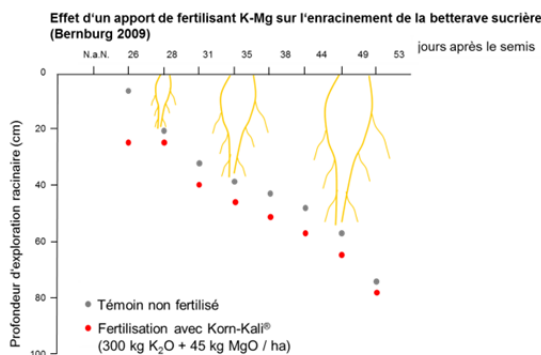
Plusieurs expérimentations conduites par l'équipe du Professeur Cakmak ont montré qu'une déficience nutritive en K et Mg conduisait à une forte inhibition de la croissance racinaire avant même l'observation de symptômes sur le feuillage. Un tel effet précoce sur l'allocation de la matière sèche vers les racines conduit à un ratio matière sèche des feuilles sur matière sèche de racines plus élevé.

Il est communément admis que toute réduction du volume racinaire d'une plante (profondeur d'exploration, longueur des racines) va de pair avec une moindre efficacité d'utilisation de l'eau par la culture. En effet, le volume d'eau absorbé par les racines sera inférieur et par conséquent la quantité d'éléments nutritifs absorbés sera aussi limitée.

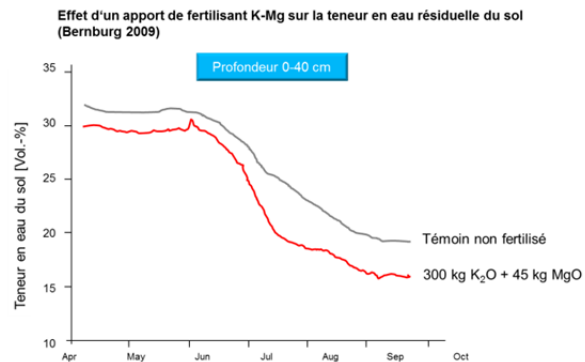
K+S KALI et l'Université de Halle-Wittenberg ont pu confirmer cet aspect sur un essai au champ situé à Bernburg, près de Berlin. Dans cet essai fertilisation K-Mg longue durée, il a été mesuré à l'aide d'un Rhizotron, la profondeur d'enracinement de la culture sur chaque parcelle. En 2009, sur betterave sucrière les mesures ont été effectuées pendant 2 mois après le semis. La comparaison des résultats du témoin non-fertilisé versus les parcelles ayant reçu un apport régulier de potassium et magnésium font apparaître des profondeurs racinaires toujours plus importantes pour les plantes qui ont bénéficié d'une alimentation K-Mg non limitante (graphique 3). Parallèlement, il a été mesuré pour chaque parcelle la teneur en eau du sol tout au long de la culture de la betterave, à savoir d'avril à septembre. Les mesures ont été réalisées par réflectométrie avec des sondes ThetaML2. Il en ressort que la teneur en eau du sol est toujours inférieure (à la profondeur 0-40 cm et 0-70 cm) pour les parcelles ayant reçu une fertilisation K-Mg (graphique 4). Cela confirme donc que par rapport au témoin, la betterave aura dans ce cas absorbé plus d'eau dans le sol, l'apport par pluviosité étant égal par ailleurs.

Ces résultats ont été confirmés en 2010 sur la culture suivante qui était une orge de printemps.

Graphique 3 :



Graphique 4 :



L'analyse de l'essai de Bernburg a ainsi permis de mettre en évidence une meilleure utilisation de l'eau en betterave sucrière (grâce à une exploration racinaire plus importante et une moindre évapotranspiration) pour une parcelle fertilisée avec K et Mg comparée à un témoin non fertilisé.

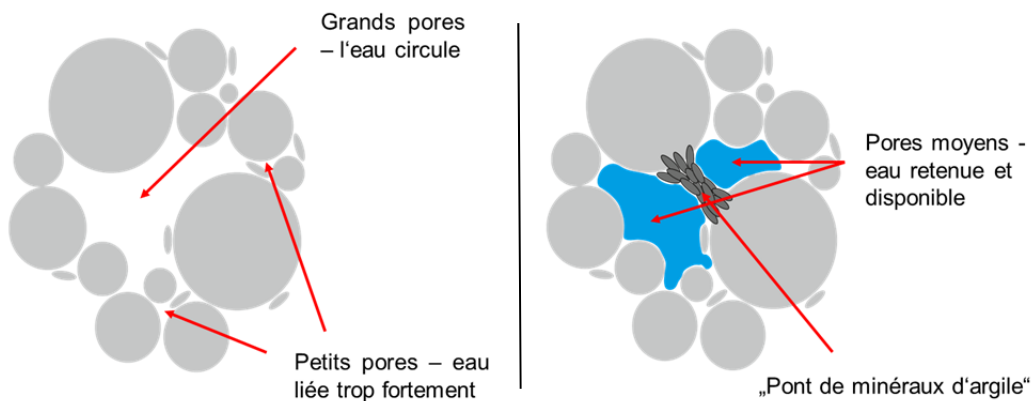
#### La porosité du sol :

L'Université de Kiel spécialisée dans les mécaniques du sol a mis en évidence le rôle du Potassium sur la porosité du sol et la réserve utile. En effet, la porosité de petite taille retient l'eau rapidement et fortement, la rendant non disponible pour les plantes. A l'inverse, la porosité de grande taille ne permet pas de retenir l'eau face à la force gravitaire et elle percole donc vers les profondeurs du sol.

Même si les mécanismes ne sont pas encore complètement compris, l'hypothèse admise est que la fourniture en quantité suffisante de potassium permet la constitution de ponts de minéraux d'argile entre les agrégats du sol. Les pores de grande taille sont ainsi divisés en pores moyens (Figure 3).

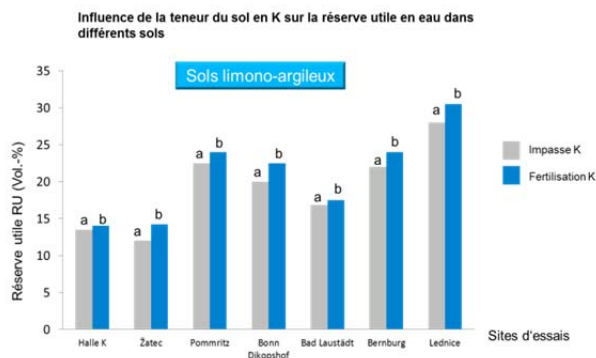
Cet effet sur la structure du sol a été confirmé par des tests de rhéométrie (Holthusen et al, 2012) montrant que dans des conditions spécifiques, le potassium du sol améliorerait la résistance au cisaillement (compaction) et donc jouait un rôle sur la structure du sol. L'effet du potassium sur le sol est donc double : il permet une meilleure résistance physique à la compaction et permet de mieux retenir l'eau, augmentant donc la réserve utile du sol.

Figure 3 : Illustration d'un pont de minéraux d'argile et son effet sur la rétention de l'eau dans le sol [K+S KALI, d'après Feeser et al. (2001)]

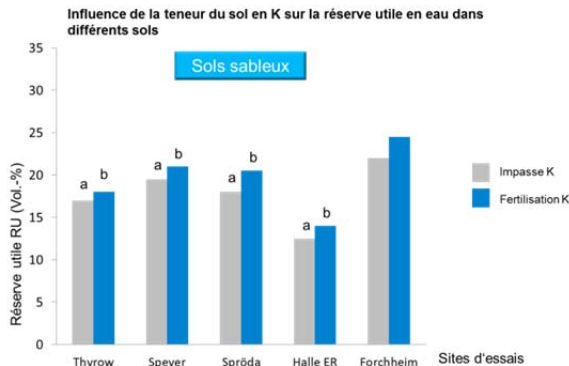


Afin de vérifier sur le terrain ces résultats, une équipe de l'Université de Halle-Wittenberg a procédé à plusieurs mesures sur une quinzaine d'essais «longue durée» situés en Allemagne, Hongrie et République Tchèque et ayant des conditions pédologiques diverses (sols sableux, limoneux et argileux). Sur chaque site, des mesures ont été effectuées sur les parcelles avec impasse et sur celles ayant reçu une fertilisation potassique renforcée : teneur en K du sol, réserve utile, capacité au champ, point de flétrissement permanent et teneur en eau (Damm et al. 2012). Les différents paramètres du sol mesurés ont montré une forte réponse à la fertilisation potassique et notamment sur la réserve utile qui est augmentée de 2 à 3% en valeur absolue en moyenne grâce à un apport de K régulier (graphiques 4 et 5). Cette corrélation est plus marquée dans les sols sableux et se réduit avec une teneur en argile croissante. Un de ces essais «longue durée» (Bonn-Dikopshof) bénéficie de parcelles différenciées sur leur teneur en matière organique, qui est connue pour son effet positif sur la rétention en eau du sol ; pour chacune des trois catégories de teneur en matière organique, les parcelles mieux pourvues en K présentaient toujours une réserve utile supérieure.

Graphique 4 :



Graphique 5 :



Cet effet de la fertilisation potassique sur la capacité de rétention en eau du sol est d'autant plus important pour les cultures subissant un stress lié à la sécheresse et plus particulièrement quand ce stress n'est que temporaire.

### Conclusion :

L'ensemble des résultats décrits précédemment permet d'affirmer que la fertilisation potassique et magnésienne n'a pas seulement comme intérêt d'augmenter les rendements des cultures grâce à leur effet nutritif. K et Mg améliorent l'efficacité d'utilisation de l'eau par les plantes grâce à leur rôle clé dans le fonctionnement de la plante et les propriétés du support sol ; cela inclut notamment leurs fonctions liées à (i) la transpiration, (ii) le transport des assimilés, (iii) le développement racinaire et (iv) la porosité du sol. Cela réduit le risque de chute de rendement de la culture face à un stress hydrique temporaire. Des recherches complémentaires sont cependant nécessaires afin de mieux comprendre pour chacune de ses fonctions le rôle précis de K et/ou Mg.

## Références bibliographiques

- Ainsworth, E.A., Ort, D.R. (2010). *How do we improve crop production in a warming world?* Plant Physiology 154, 526-530.
- Battisti, D.S., Naylor, R.L. (2009). *Historical warnings of future food insecurity with unprecedented seasonal heat.* Science 323, 240-244.
- Bose, J., Babourina, O., Rengel, Z. (2011). *Role of magnesium in alleviation of aluminium toxicity in plants.* Journal of Experimental Botany 62: 2251-2264
- Cakmak I, Hengeler C, Marschner H (1994) *Partitioning of shoot and root dry matter and carbohydrates in bean plants suffering from phosphorus, potassium and magnesium deficiency.* Journal of Experimental Botany 45: 1245 – 1250.
- Cakmak et al. (1994) *Changes in phloem export of sucrose in leaves in response to phosphorus, potassium and magnesium deficiency in bean plants.* Journal of Experimental Botany, Vol. 45, No. 278, pp. 1251-1257,
- Cakmak I (2005) *The role of potassium in alleviating detrimental effects of abiotic stresses in plants.* Journal of Plant Nutrition and Soil Science 168: 521–530.
- Damm S., Hofmann B., Gransee A. & Christen O. (2011): *Zur Wirkung von Kalium auf ausgewählte bodenphysikalische Eigenschaften und den Wurzeltiefgang landwirtschaftlicher Kulturpflanzen,* Archives of Agronomy and Soil Science, DOI:10.1080/03650340.2011.596827
- Damm S., Hofmann B., Gransee A. & Christen O. (2012): *Zum Einfluss langjährig differenzierter Kaliumdüngung auf Parameter des Bodenwasserhaushaltes,* Archives of Agronomy and Soil Science, DOI:10.1080/03650340.2011.606217
- Damm S., Hofmann B., Gransee A. & Christen O. (2012): *Wirkung differenzierter K-Düngung auf bodenphysikalische Eigenschaften, Bodenwassergehalt und Ertrag von Zuckerrüben und Sommergerste auf einem Tschernosem im Mitteldeutschen Trockengebiet,* Archives of Agronomy and Soil Science, DOI:10.1080/03650340.2012.663909
- Fritz A.(2009) *Bedeutung d der Kaliumernährung für die Dürresistenz und das vegetative Wachstum von Raps (Brassica napus L),* Bachelorarbeit, Institut für Pflanzenernährung, Justus-Liebig-Universität Gießen
- Gerendas J., Führs H. (2012) *The significance of magnesium for crop quality* Plant Soil DOI 10.1007/s11104-012-1555-2
- Gransee A., Führs H. (2012) *Magnesium mobility in soils as a challenge for soil and plant analysis, magnesium fertilization and root uptake under adverse growth conditions,* Plant Soil DOI 10.1007/s11104-012-1567-y
- Gransee et al. (2012) *Recent advances in understanding the role of potassium and magnesium in mitigating abiotic stress in crops,* Proceedings of the IFS Annual Conference 2012, Cambridge
- Grzebisz W., Musolf R., Barłóg P., Potarzycki J. (2002): *Potassium fertilization, water shortages during vegetation and crop yielding variability the case of sugar beets,* Biuletyn Instytutu Hodowli i Aklimatyzacji Roślin, No 22, 19 – 30
- Hermans et al. (2005) *Magnesium deficiency in sugar beets alters sugar partitioning and phloem loading in young mature leaves,* Planta 220: 541–549
- Holthusen et al. (2012) *Physical properties of a Luvisol for different long-term fertilization treatments: I. Mesoscale capacity and intensity parameters.* J. Plant Nutr. Soil Sci. 2012, 175, 4–13
- Holthusen D. (2010) *Fertilization induced changes in soil stability at the microscale revealed by rheometry,* Dissertation Institut für Pflanzenernährung und Bodenkunde, Christian-Albrechts-Universität Kiel

- Holthusen D., Peth S. and Horn R. (2010) *Impact of potassium concentration and matric potential on soil stability derived from rheological parameters*, Soil & Tillage Research 111 (1) 75 - 85
- Marschner P (ed.) (2012) *Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants* (Third Edition). Elsevier Ltd.
- Mengel K, Arneke WW (1982) *Effect of potassium on the water potential, the pressure potential, the osmotic potential and cell elongation in leaves of Phaseolus vulgaris*. Physiologia Plantarum 54: 402 – 408.
- Mengel K, Kirkby EA, Kosegarten H, Appel T (2001) *Principles of Plant Nutrition*. 5th ed. International Potash Institute, Worblaufen – Bern (Switzerland).
- Reeb D. (2010): *Einfluss der Kaliumdüngung auf das Wachstum und die Wassernutzungseffizienz von Ackerbohne (Vicia faba), Sommerweizen (Triticum aestivum) und Tomate (Solanum lycopersicum) unter Kontroll-, Trockenstress- bzw. Salinitätsbedingungen*, Dissertation Institut für Pflanzenernährung, Justus-Liebig-Universität Gießen
- Rutt K. (2005): *Einfluss langjährig differenzierter Kalium-Düngung auf Wasser- und Lufthaushaltsparameter des Bodens*, Diplomarbeit Institut für Acker- und Pflanzenbau, Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg
- Shabala, S., Hariadi, Y. (2005). *Effects of magnesium availability on the activity of plasma membrane ion transporters and light-induced responses from broad bean leaf mesophyll*. Planta 221: 56-65
- Shaul, O. (2002). *Magnesium transport and function in plants: the tip of the iceberg*. BioMetals 15, 309-323
- Wang M., Zheng Q., Shen Q. and Guo S. (2010) *The Critical Role of Potassium in Plant Stress Response* Int. J. Mol. Sci. 2013, 14, 7370-7390; doi:10.3390/ijms14047370