

EFFETS DU RUBIDIUM ET DU CÉSIUM SUR LA CROISSANCE ET LA NUTRITION MINÉRALE DES CHARACEES

René STRAUSS

Université de Dijon, Laboratoire de Nutrition minérale des Végétaux

Reçu au 20 juin 1979

Keywords: *Chara*, rubidium, caesium, requirement of nutrients, growth

Abstract

Chara fragilis and *Chara vulgaris* were cultivated in a natural medium containing rubidium and caesium as chloride.

The growth of Characeae was increased after culture in the solutions containing Rb and Cs in small amount. The resistance to the toxic effects of these two ions is enhanced if potassium chloride is added to the medium.

Quantitative analyses indicate that Rb and Cs decrease the rate of Na and K but have no significative influence on the rate of Ca.

Introduction

Dans le cadre de recherches consacrées à la tolérance des végétaux aquatiques aux ions alcalins (Strauss & Lepoint, 1966; Strauss, 1967, 1968, 1976), nous nous sommes proposé de comparer les effets du rubidium et du césium, introduits sous forme de chlorure, sur la croissance et la composition chimique minérale de *Chara fragilis* Desvoux et *Chara vulgaris* L. f. *contraria* (A. Br. ex Kütz) Wood.

Matériel et méthodes

Les deux espèces, récoltées en Bourgogne, ont été mises en culture, sous lumière naturelle, à la température ambiante. Elles ont été immergées dans l'eau de leur station titrant en milligrammes/litre: Na: 1,3-4,0; K: traces-0,5; Ca: 64-92; Mg: 1,8-3,2; Cl: 9,6-19. A ce milieu nous avons ajouté une même dose de rubidium ou de césium sous

forme de chlorure, la solution a été parfois enrichie de chlorure de potassium ou de calcium.

Au bout de vingt jours, les axes qui se sont développés ont été détachés et lavés, ainsi que les plantes souches, à l'eau distillée.

Pour évaluer la croissance des pousses, deux critères ont été retenus: la longueur ainsi que le nombre d'entre-nœuds des axes, l'augmentation de masse des thalles.

Les analyses quantitatives ont été effectuées sur des échantillons séchés à 105°C, incinérés à 400°C puis lavés à l'eau chaude. Après filtration, le résidu calciné à 600°C a été solubilisé dans de l'acide chlorhydrique 2N. Nous avons dosé dans la solution aqueuse au spectrophotomètre, les alcalins en émission de flamme, le calcium (celui-ci également dans la fraction chlorhydrique) par absorption atomique. Le chlore a été titré par volumétrie selon la méthode de Mohr. Les résultats sont exprimés en mEq/100 grammes de substance sèche.

Résultats

Action du rubidium

Chara fragilis a été cultivé dans une solution contenant de 0,1 à 3 mM/l de rubidium.

A l'examen du tableau 1, où sont consignés les résultats d'une expérience, on constate que le rubidium à la dose de 0,1 mM exerce un effet stimulant sur la croissance se traduisant à la fois par un allongement des axes et un accroissement de la masse de substance sèche. A partir de 0,5 ou de 1 mM, selon les expériences, se manifeste un effet dépressif. Aux fortes doses, les pousses qui apparais-

Tableau 1. Croissance de *Chara fragilis* cultivé en présence de rubidium et de césium.

Milieu		Thalles			Milieu		Thalles		
Rb	K	Lon- gueur	Entre- noeuds	Poids sec	Cs	K	Lon- gueur	Entre- noeuds	Poids sec
(mM)	(mM)	(cm)		(mg)	(mM)	(mM)	(cm)		(mg)
0		42	3	338	0		42	3	338
0,1		56	3	369	0,1		65	3	392
0,5		32	2	244	0,5		57	3	368
1		27	2	267	1		41	3	266
3		25	2	342	3		16	2	188
0,5	0,25	72	3	382	0,5	0,25	64	3	508
0,5	0,5	74	3	418	0,5	0,5	48	3	483

sent en nombre plus élevé que dans le témoin, bien que de faibles dimensions, ont une masse aussi forte que celui-ci.

Les analyses mentionnées dans le tableau 2 montrent que l'introduction dans le milieu de doses croissantes de rubidium entraîne une augmentation du pourcentage de cet élément dans les thalles. Celui-ci, chez *Chara fragilis* atteint 20,1 mEq/100 g de substance sèche dans les jeunes axes, le taux de chlore s'élève en parallèle avec celui de rubidium, de 28 à 38. Les valeurs sont plus basses dans les plantes souches; au maximum, Rb: 11,9; Cl: 25,3.

Un effet antagoniste se manifeste vis-à-vis des taux de potassium et de sodium; ceux-ci pour la dose maximale de rubidium, soit 3mM, s'abaissent respectivement de 16,7 à 5,9 et de 6,5 à 2,3 mEq/100 g. On constate que la somme des cations alcalins ne présente pas de variations importantes, elle tend toutefois à augmenter en fonction de la concentration du milieu. Le rapport somme des alcalins/chlore ne se modifie pas de manière appréciable. Les variations très limitées du pourcentage de calcium tant soluble dans l'eau qu'à l'état de composé insoluble, ne semblent pas significatives.

La réaction du *Chara vulgaris* à la présence de rubidium (Tableau 3) est très voisine de celle de *Chara fragilis* tant en ce qui concerne la croissance des axes que leur composition minérale. Les teneurs en alcalins et en calcium soluble sont toujours plus basses, celles en calcium insoluble plus élevées que chez *Chara fragilis*.

Nous avons recherché l'influence sur les *Chara* de l'apport de 0,25 ou 0,5 mM de chlorure de potassium à un milieu contenant 0,5 mM de chlorure de rubidium. Comparées à celles qui se sont développées dans une solution additionnée uniquement de 0,5 mM de rubidium, les plantes ont une croissance beaucoup plus importante.

La teneur en rubidium, aussi bien des jeunes axes que des plantes souches est plus basse; le taux de potassium, plus élevé, ainsi que celui de chlore, ne dépasse pas celui des témoins, il en est de même pour la somme des alcalins.

Dans une autre expérience le milieu qui contenait 1,6 mM de calcium a été enrichi en chlorure de calcium à raison de 1 mM. Les résultats relatifs à une culture de *Chara fragilis* mentionnés dans le tableau 4 font apparaître une stimulation de l'absorption du rubidium, ainsi que du chlore; le taux de calcium soluble que augmente faiblement.

Effets du césium

Une étude semblable a été effectuée afin de comparer à celle du rubidium l'influence du césium ajouté au milieu à des concentrations de 0,1 à 3 mM/l.

Des doses de chlorure de césium comprises entre 0,1 et 0,5 mM ont sur la croissance de *Chara fragilis* un effet bénéfique qui se traduit par un accroissement de la longueur des pousses ainsi que de leur masse (Tableau 1). A partir de 1 mM/l, un effet dépressif apparaît. A 3 mM, les pousses qui sont en nombre aussi élevé que dans les témoins ont des dimensions réduites; le pourcentage de substance formé est faible.

L'analyse des cendres montre que la teneur en césium de la matière sèche, qui croît avec la concentration de cet élément dans le milieu extérieur, est généralement un peu plus élevée dans les jeunes axes que dans les plantes souches (Tableau 5). Chez *Chara fragilis*, elle augmente respectivement de 1,9 à 19,4 et de 1,6 à 15,8. Les taux de césium sont beaucoup plus bas chez *Chara vulgaris* (Tableau 6) de 0,4 à 3,7 dans les jeunes axes, de 0,2 à 2,5 dans les parties du thalle les plus âgées. Le pourcentage de

Tableau 2. Composition chimique de *Chara fragilis* cultivé en présence de rubidium.

	Milieu (mM)		(mEq/100g substance sèche)							
	Rb	K	Rb	K	Na	Ca sol.	Ca insol.	Cl	Rb ⁺ +K ⁺ +Na ⁺	$\frac{Rb^+ + K^+ + Na^+}{Cl^-}$
jeunes axes	0		-	16,7	6,5	21,5	1330	28,2	23,2	0,82
	0,1		6,4	11,5	2,4	20,5	1195	29,3	20,3	0,69
	0,5		14,3	9,7	2,9	27,5	1270	37,5	26,9	0,72
	1		15,7	7,9	2,5	22	1285	35,2	26,1	0,74
	3		20,1	5,9	2,3	27	1225	38,0	28,3	0,74
	0,5	0,25	5,8	14,6	1,8	17,5	1345	28,7	22,2	0,77
	0,5	0,5	5,2	15,9	1,6	23,5	1360	27,6	22,7	0,82
plantes souches	0		-	13,3	5,6	21	1370	22,8	18,9	0,83
	0,1		5,4	10,8	1,9	21,5	1375	21,4	17,1	0,80
	0,5		9,4	10,5	2,0	25	1240	24,2	21,9	0,88
	1		11,3	11,0	1,1	22	1250	22,5	23,5	1,04
	3		11,9	7,7	1,5	22	1430	25,3	20,1	0,79
	0,5	0,25	5,3	15,1	0,8	22	1390	23,9	16,2	0,68
	0,5	0,5	5,6	15,4	2,5	19	1460	22,8	18,5	0,81

chlore de la plante n'augmente pas en fonction des doses de chlorure, comme dans le cas du rubidium, mais a au contraire tendance à diminuer.

L'introduction de césium dans la solution nutritive produit une baisse du taux de sodium et de potassium dans les différentes parties de la plante. La diminution du potassium est d'autant plus importante que la dose de césium est forte. La somme des alcalins ne subit pas de variations importantes, on note toutefois une élévation de celle-ci en fonction de l'enrichissement du milieu en césium. De même, le rapport des alcalins au chlore augmente.

Nous avons recherché comme dans le cas précédent les conséquences de l'addition au milieu contenant 0,5 mM de césium de doses de potassium égales à 0,25 et 0,5 mM. Les *Chara* ont, dans ces conditions, une croissance nettement plus importante qui s'apprécie notamment par l'augmentation du poids sec des jeunes axes. L'apport de potassium qui augmente le taux de cet élément dans la plante entraîne corrélativement une baisse notable de la teneur en césium, alors que le pourcentage de sodium, de même que celui de calcium ne varient pas.

L'addition de 1 mM de chlorure de calcium à une solution contenant la même quantité de chlorure de césium a pour conséquence, chez *Chara fragilis*, un taux de césium et de chlore plus élevé, effet semblable à celui produit par le mélange des sels de calcium et de rubidium.

Discussion et conclusion

Ces expériences montrent une similitude d'effets du rubidium et du césium tant sur la croissance que sur la teneur en alcalins de *Chara fragilis* et de *Chara vulgaris*.

Sur milieu naturel contenant notamment de faibles quantités de potassium, le rubidium fourni à faible dose, stimule la croissance. Ce résultat est conforme à celui obtenu par divers auteurs, notamment Richards (1941, 1944) sur l'orge et plus récemment Cohen, Girard & Heller (1978) qui ont montré à l'aide de cultures de tissus *in vitro* la possibilité de remplacement partiel du potassium par le rubidium. Le césium à la même concentration améliore également la croissance. Le seuil à partir

Tableau 3. Composition chimique de *Chara vulgaris* cultivé en présence de rubidium.

	Milieu (mM)		(mEq/100g substance sèche)							
	Rb	K	Rb	K	Na	Ca	Cl	Rb ⁺ +K ⁺ +Na ⁺	$\frac{Rb^{+}+K^{+}+Na^{+}}{Cl^{-}}$	
						sol.	insol.			
jeunes axes	0		-	9,5	3,5	28,5	1515	20	13,0	0,63
	0,1		0,7	10,2	2,8	19,5	1495	18,9	13,7	0,72
	0,5		2,9	7,7	1,2	20,5	1525	18	11,8	0,65
	1		3,2	5,6	1,4	22,5	1585	15,8	10,2	0,64
	3		5,4	4,4	1,2	20,5	1630	16	11,0	0,68
	0,5	0,25	1,2	9,5	1,8	28,5	1625	18,6	12,5	0,67
	0,5	0,5	0,9	7,7	1,2	20	1545	15,8	9,8	0,62
plantes souches	0		-	5,6	1,2	17	1615	10,1	6,8	0,67
	0,1		0,5	6,9	1,3	16,5	1825	13,0	8,7	0,67
	0,5		2,0	7,9	1,2	12,5	1610	13,2	11,1	0,88
	1		2,5	5,6	1,2	11	1560	12,7	9,3	0,73
	3		5,3	4,6	2,8	11	1495	12,4	12,7	1,02
	0,5	0,25	1,3	5,1	2	10	1535	9,0	8,4	0,93
	0,5	0,5	1,0	5,7	2,4	11,5	1510	13,0	11,3	0,87

Tableau 4. Composition chimique des jeunes axes de *Chara fragilis* cultivé en présence de rubidium ou de césium + chlorure de calcium.

	Milieu (mM)									
	Rb	Ca	Rb	K	Na	Ca	Cl	Rb ⁺ +K ⁺ +Na ⁺	$\frac{Rb^{+}+K^{+}+Na^{+}}{Cl^{-}}$	
						sol.	insol.			
	0		-	16,1	10,9	16,5	1230	30,4	27,0	0,89
	1		14,9	14,3	3,1	23,0	1185	38,9	32,3	0,83
	1	+1	17,9	14,3	3,8	28,0	1120	49,3	36,0	0,73
	Cs	Ca	Cs	K	Na	Ca	Cl	Cs ⁺ +K ⁺ +Na ⁺	$\frac{Cs^{+}+K^{+}+Na^{+}}{Cl^{-}}$	
	1		15,6	15,6	1,5	16,0	1290	25,9	27,6	1,06
	1	+1	16,4	16,4	2,2	17,5	1230	27,3	31,9	1,16

Tableau 5. Composition chimique de *Chara fragilis* cultivé en présence de césium.

	Milieu (mM)		(mEq/100g substance sèche)							
	Cs	K	Cs	K	Na	Ca sol. insol.	Cl	Cs ⁺ +K ⁺ +Na ⁺	$\frac{\text{Cs}^{\text{+}}+\text{K}^{\text{+}}+\text{Na}^{\text{+}}}{\text{Cl}^{\text{-}}}$	
jeunes axes	0		-	16,7	6,5	21,5	1330	28,2	23,2	0,82
	0,1		1,9	11,5	3,6	19	1325	21,1	17,0	0,80
	0,5		8,6	10,2	3,2	21,5	1385	24,2	22,0	0,90
	1		11,7	7,9	2,3	21	1295	21,4	21,9	1,02
	3		19,4	5,4	2,8	19	1265	18,3	27,6	1,50
	0,5	0,25	6,1	11,3	2,5	16,5	1370	20,6	19,9	0,97
	0,5	0,5	3,2	15,6	3,0	20	1306	25,1	21,8	0,87
	plantes souches	0		-	13,3	5,6	21	1370	22,8	18,9
0,1			1,6	12,3	3,9	23	1385	20	16,8	0,84
0,5			9,6	10,5	2,7	21,5	1285	18,3	22,8	1,24
1			12,0	8,7	2,8	25	1240	18,9	23,5	1,24
3			15,8	9,0	2,9	19	1220	19,1	27,7	1,45
0,5		0,25	3,4	17,4	2,6	23	1250	25,1	23,4	0,93
0,5		0,5	2,6	16,7	2,4	23,5	1365	23,9	21,7	0,91

duquel se manifeste un effet dépressif se situe pour les deux alcalins aux environs de 1 mM, les plantes tolèrent une concentration de 3 mM.

L'effet toxique peut être attribué à l'accumulation de rubidium ou de césium mais également à la diminution de la quantité de potassium. L'introduction de doses croissantes de chlorure de rubidium ou de césium dans le milieu a pour conséquence une augmentation du taux de ces éléments dans la plante, celle-ci est particulièrement importante dans les parties du thalle en voie de croissance. Les pourcentages de rubidium sont en général, à concentration équivalente du milieu, sensiblement plus élevés que ceux de césium. On observe, dans les deux cas, une baisse de la teneur en potassium et en sodium.

L'étude des interférences entre le potassium et le rubidium a suscité un grand nombre de travaux. Collander (1941) avait montré à l'aide d'analyses effectuées sur des plantes entières la similitude de l'absorption des deux ions. Epstein & Hagen (1952), utilisant des racines d'orge

excisées ont précisé que l'antagonisme entre le rubidium ou le césium et le potassium est compétitif; ces ions se fixent sur les mêmes sites. Les recherches d'El Sheikh *et al.* (1971) relatives à l'absorption de K et Rb par des betteraves en culture de longue durée ont permis à ces auteurs de confirmer la compétition des deux alcalins au cours de leur absorption.

L'antagonisme Rb/K ou Cs/K apparaît lors de l'analyse des échantillons cultivés sur milieu enrichi en potassium. Lorsque la concentration de la solution en potassium est du même ordre de grandeur que celle en rubidium ou en césium on constate un important effet inhibiteur du potassium sur l'absorption de ces deux ions. Marchyulene *et al.* (1976) étudiant l'accumulation de ¹³⁷Cs dans les divers compartiments cellulaires des Characées ont constaté qu'à un accroissement de la concentration en potassium du milieu correspond une diminution du facteur de concentration de ¹³⁷Cs dans le protoplasme, ce qui signifie une réduction de la pénétration du

Tableau 6. Composition chimique de *Chara vulgaris* cultivé en présence de césium.

	Milieu (mM)		(mEq/100g substance sèche)							
	Cs	K	Cs	K	Na	Ca sol. insol.	Cl	Cs ⁺ +K ⁺ +Na ⁺	<u>Cs⁺+K⁺+Na⁺</u> Cl ⁻	
jeunes axes	0		-	13,3	6,0	17,5	1590	24,8	19,3	0,77
	0,1		0,4	9,0	2,4	18	1525	16,0	11,8	0,73
	0,5		1,3	6,7	2,3	14	1505	13,0	10,3	0,79
	1		2,0	4,4	1,3	16	1550	11,0	7,7	0,70
	3		3,7	4,6	2,2	15	1605	14,6	10,5	0,72
	0,5	0,25	1,1	8,2	3,3	13	1585	15,8	12,6	0,79
	0,5	0,5	0,7	6,9	4,3	14,5	1580	16,6	11,0	0,66
plantes souches	0		-	12,1	3,5	14	1495	18,0	15,6	0,86
	0,1		0,2	7,2	2,9	12	1595	10,7	10,3	0,96
	0,5		0,4	5,4	2,0	10	1460	8,2	7,8	0,95
	1		2,3	4,1	2,0	11	1485	9,0	8,4	0,93
	3		2,5	4,9	2,3	13,5	1530	12,4	9,7	0,78
	0,5	0,25	0,8	5,1	2,0	11	1410	9,3	7,9	0,78
	0,5	0,5	0,6	5,6	1,8	12,5	1485	9,0	8,0	0,89

césium à travers le plasmalemme.

Les milieux de culture contenaient du calcium à une concentration relativement élevée (1,5 à 2,25 mM/l). L'importance de ce facteur a été mise en évidence par Epstein (1961); les ions calcium sont essentiels pour que le transport sélectif de cations, notamment K, Rb et Na soit assuré. Läuchli & Epstein (1970) ont ultérieurement montré que les mécanismes de transport pour Rb et K sont les mêmes à condition que la concentration en calcium soit adéquate. Nous avons constaté qu'un enrichissement en calcium de la solution nutritive contenant du rubidium ou du césium provoque une légère stimulation de l'absorption de ces éléments. On sait que le calcium augmente l'absorption de différents ions par les végétaux (Viets, 1944), résultat confirmé par Tanada (1955) et Epstein (1960).

Par ailleurs, nos analyses confirment que l'addition du chlorure de rubidium ou de césium s'accompagne d'une diminution de la teneur en sodium. A la différence de

l'interaction K-Rb, l'antagonisme Rb-Na n'est pas compétitif car le sodium ne se fixe pas sur les mêmes sites que le potassium ou le rubidium (Epstein, 1952). Il résulte des recherches de Jeschke (1977) sur les racines d'orge que le rubidium et le césium stimulent dans les mêmes proportions l'efflux de sodium à travers le plasmalemme des cellules corticales; selon cet auteur, il y aurait un lien entre l'efflux de sodium et une partie de l'influx de Rb et de Cs.

Par ailleurs, l'augmentation de la teneur en rubidium s'accompagne d'une élévation du taux de chlore, ce qui suggère un cotransport du cation et de l'anion correspondant. Par contre, dans le cas du césium, le taux de chlore ne suit pas l'augmentation du pourcentage de césium, ce qui pourrait être l'indice d'un mécanisme d'absorption différent.

En définitive, *Chara vulgaris* et *Chara fragilis* ont un comportement semblable aussi bien aux doses où le rubidium et le césium ont un effet oligodynamique qu'aux

fortes concentrations qui, malgré une réduction de la croissance, permettent la survie des deux plantes.

L'addition de potassium au milieu en limitant l'accumulation du rubidium ou du césium permet aux Characées de résister aux effets toxiques de ces ions, ce qui peut présenter un intérêt dans la lutte contre les pollutions dues aux métaux lourds.

Résumé

Le rubidium et le césium introduits à l'état de chlorure dans le milieu de culture ont à faible dose un effet stimulant sur la croissance de *Chara fragilis* et de *Chara vulgaris*. La résistance de ces végétaux à l'action toxique des deux ions est accrue par l'addition de potassium au milieu.

Les analyses chimiques confirment que le rubidium et le césium sont antagonistes vis-à-vis du potassium et du sodium alors qu'ils ne modifient pas de manière significative le taux de calcium.

Bibliographie

- Cohen, A. C., Girard, D. & Heller, R. 1978. Effets comparés du potassium et du rubidium sur la physiologie des tissus et organes végétaux: croissance, biosynthèse, absorption du calcium et du phosphore. *Physiol. végét.*, 16: 575-591.
- Collander, R., 1941. Selective absorption of cations by higher plants. *Plant Physiol.*, 16: 691-720.
- El Sheikh, A. M., Broyer, T. C. & Ulrich, A. 1971. Interaction of Rubidium or Sodium with Potassium in absorption by intact Sugar Beet plants. *Plant Physiol.*, 47: 709-712.
- Epstein, E. 1960. Calcium-lithium competition in absorption by plant roots. *Nature (London)*, 185: 705-706.
- Epstein, E. 1961. The essential role of calcium in selective cation transport by plant cells. *Plant Physiol.*, 36: 437-444.
- Epstein, E. & Hagen, C. E. 1952. A kinetic study of the absorption of alkali cations by barley roots. *Plant Physiol.*, 27: 457-474.
- Jeschke, W. D. 1977. $K^+ - Na^+$ Exchange and selectivity in barley root cells. Effects of K^+ , Rb^+ , Cs^+ and Li^+ on the Na^+ Fluxes. *Z. Pflanzenphysiol.*, 84: 247-264.
- Laüchli, A. & Epstein, E. 1970. Transport of potassium and rubidium in plant roots. The significance of calcium. *Plant Physiol.*, 45: 639-641.
- Marchyulene, D. P., Moteyunene, E. B., Gudavichene, N. A. & Polikarpov, G. G. 1976. Etude de l'accumulation sélective du césium 137, du strontium 90 et du cérium 144 dans les compartiments cellulaires des Characées. *Radioprotection*, 11: 263-270.
- Richards, F. J. 1941. Physiological studies in plant nutrition. XI. The effects on growth of rubidium with low potassium supply and modification of the effect by other nutrients. Part. I. The effect on total dry weight. *Ann. Bot.*, 5: 263-296.
- Richards, F. J. 1944. Physiological studies in plant nutrition. XI. The effects on growth of rubidium with low potassium supply and modification of the effect by other nutrients. Part. 2. The effect on dry weight, distribution, net assimilation rate, tillering, fertility. *Ann. Bot.* 8: 323-356.
- Strauss, R. 1967. Contribution à l'étude des alcalins et des alcalino-terreux chez les Algues. *Int. Revue ges. Hydrobiol.*, 52: 465-486.
- Strauss, R. 1968. Sur l'absorption du lithium et les interactions entre ions alcalins chez *Chara fragilis* Desvaux. *C. R. Acad. Sci. D.* 266: 2249-2252.
- Strauss, R. 1976. Effet de divers sels alcalins sur la croissance et la nutrition minérale de *Lemna minor* L. *Int. Revue ges. Hydrobiol.*, 61: 673-676.
- Strauss, R. & Lepoint, J. 1966. Influence des chlorures alcalins sur la nutrition et la croissance des Characées. *C. R. Acad. Sci.*, D, 263: 40-43.
- Tanada, T. 1955. Effects of ultraviolet radiation and calcium and their interaction on salt absorption by excised mung bean roots. *Plant Physiol.*, 30: 221-225.
- Viets, F. G. Jr. 1944. Calcium and other polyvalent cations as accelerators of ion accumulation by excised barley roots. *Plant Physiol.*, 19: 466-480.