

PRIMING DES SEMENCES : APPROCHES PAR L'UTILISATION D'EXTRAIT AQUEUX D'ALGUE VERTE *ULVA RIGIDA* (C.AGARDH, 1823)

MOHAMMEDI Anissa^{1*}, HAMID SIDI YAKHLAF Meriem¹, BENKRADIDJA Hind¹, MERAH Othmane^{2,3} et DJAZOULI Zahr-Eddine¹

1. Université de Blida 1, Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, Département de Biotechnologie, Laboratoire de Biotechnologie des Productions Végétales, B.P. 270, route de Soumaa, Blida, Algérie

2. Université de Toulouse, INP-ENSIACET, LOI (Laboratoire de Chimie Agro-industrielle), F-31030 Toulouse, France

3. Université Paul Sabatier- IUT A- Département Génie Biologique. France

Reçu le 29/01/2021, Révisé le 25/05/2021, Accepté le 30/05/2021

Résumé

Description du sujet : Le changement climatique est un obstacle majeur pour la germination et la croissance précoce des semis, tout traitement biologique qui permet d'apporter une amélioration morpho-physiologique sera d'intérêt particulier.

Objectifs : Notre objectif porte sur l'évaluation des potentialités de l'extrait aqueux d'*Ulva rigida* en tant qu'un agent de priming, et ses capacités à booster et stimuler les graines de blé sous différentes concentrations.

Méthodes : La technique de priming a été réalisée sur les graines de blé en utilisant l'algue *Ulva rigida* comme agent. Après préparation de l'extrait aqueux, les graines ont été amorcées à différentes concentrations à raison 0,2 ml/250 ml, 0,3 ml/250 ml, 0,5 ml/250 ml et 1 ml/250 ml. L'eau de ville a été retenue comme témoin. L'essai a été réalisé pendant 10 jours. Les taux de germination et d'inhibition, l'indice et la vitesse de germination, poids frais, poids sec, longueur des parties aérienne et racinaire et l'accumulation des polyphénols totaux ont été estimés.

Résultats : Les résultats ont indiqué l'efficacité de l'extrait aqueux d'*Ulva rigida* en tant qu'agent de priming. À la plus faible concentration (0,2 ml/250 ml), le taux de germination, l'indice et la vitesse de germination, la croissance racinaire et aérienne, ainsi que la teneur en polyphénols totaux ont été considérablement améliorées. Sous l'effet des concentrations 0,3 ml/250 ml et 0,5 ml/250 ml, le pouvoir stimulateur a enregistré une perte d'efficacité, accompagné d'une forte accumulation des polyphénols totaux. Enfin, la forte concentration, en l'occurrence 1 ml/250 ml, a exprimé un fort taux d'inhibition.

Conclusion : L'extrait aqueux de l'algue verte *Ulva rigida* est un agent de priming prometteur, qui peut répondre aux attentes actuelles et futures des opérateurs économiques tout en assurant la pérennité de l'activité agricole. Aux fortes concentrations, il peut servir comme inhibiteur de la germination. En revanche, aux très faibles concentrations, il stimule la semence et performe le processus de germination même dans les situations de contraintes climatiques.

Mots clés : Algue verte, Inhibition de germination, Priming, Stimulation *Triticum turgidum*.

SEED PRIMING: APPROACHES BY THE USE OF AQUEOUS EXTRACT OF GREEN ALGAE *ULVA RIGIDA* (C.AGARDH, 1823)

Abstract

Description of the subject: climate change is a major constraint hampering germination and early seedling growth, any biological treatment that allows for a morpho-physiological improvement will be of special interest.

Objective: Our aim is to evaluate the potential use of *Ulva rigida* as a priming agent, and its ability to boost wheat seeds under different concentrations.

Methods: The experiment was carried out on wheat seeds to evaluate the priming technique by using *Ulva rigida* as agent. After preparation of the aqueous extract, the seeds were primed in different concentrations at the rate of 0.2 ml/250 ml, 0.3 ml/250 ml, 0.5 ml/250 ml and 1 ml/250 ml. The control used was the tap water. Monitoring of the parameters (germination, inhibition levels, index and rate of germination, fresh and dry weights, length of the aerial and root parts and total polyphenols content) was assessed during 10 days.

Results: The results indicated the effectiveness of *Ulva rigida* as a priming agent at the lowest concentration (0.2 ml / 250 ml), thus stimulating the germination rate, the Index and the speed of germination. The root and aerial growth, as well as the content of total polyphenols have been considerably improved. The concentrations 0.3 ml/250 ml and 0.5 ml /250 ml, lost the stimulatory power but favored the content of polyphenols, can be used more in response to different stress while the 1ml dose increased the rate of inhibition.

Conclusion: *Ulva rigida* seaweed extract is a promising priming agent, which can meet the current and future expectations of economic operators while ensuring the sustainability of agricultural activity. At high concentrations, it can serve as inhibitor of germination. On the other hand, at very low concentrations, it stimulates the seed and improves the germination process even under climatic constraints.

Keywords: Green seaweed, *Triticum turgidum*, priming, stimulation, inhibition of germination

* Auteur correspondant: MOHAMMEDI Anissa, E-mail: anissa.mohammed94@gmail.com

INTRODUCTION

La nécessité d'améliorer la qualité des semences est devenue un besoin nécessaire et primordial. Afin de faire face aux attentes agronomiques actuelles et futures, obtenir une levée rapide et uniforme des plantules est un point clé pour la performance des cultures, c'est une tentative qui remonte aux anciens Grecs comme audité par Everari [1] dans sa description historique. Theophrastus [2], a étudié la réponse des graines pendant la germination, il a conclu que les graines de concombre (*Cucumis sativus* L.) trempées dans l'eau avant le semis entraînaient une germination plus rapide. Osburn et Schroth [3], estiment que les taux de germinations lents exposent fréquemment les plantules à des conditions environnementales défavorables. Près de 66% des écosystèmes du globe sont considérés comme dégradés [4], sans ignorer les énormes incendies désastreux des forêts hors de contrôle qui perturbent et éliminent la végétation locale, et favorisent la création des zones à coloniser par des mauvaises herbes [5]. Conjuguait à l'impact des changements globaux, le succès des semis serait compromis d'avantage [6]. Dans de telles situations, le recours à la technique de priming peut être une bonne alternative afin de remédier aux contraintes environnementales, qui affectent négativement le processus de germination. C'est un traitement de pré-semis qui conduit à un état physiologique stable, améliore la qualité des semences et permet aux graines de germer plus efficacement [7]. La majorité des traitements des semences sont basés sur l'imbibition des semences, ce qui permet aux semences de passer par le premier stade réversible de la germination, mais il ne permet pas une saillie radicule à travers le tégument de la graine. Les graines conservent leur tolérance à la dessiccation et sont ensuite déshydratées et peuvent être stockées jusqu'au semis final [8]. L'efficacité du priming se traduit par un important pourcentage de germination, une vitesse de germination remarquable, une longueur et masse sèche des plantules appréciable, ainsi qu'une augmentation de la capacité des graines à résister au stress pendant la germination [9-17]. Toutes graines soumises à l'amorçage présentent des taux de germination accrus qui se traduisent par des niveaux élevés de résistance aux stress biotique et abiotique et une amélioration du rendement des cultures. Aussi, le vieillissement des graines est réparé par cette technique [18, 19]. Certains traitements physiques liés à cette dernière comme, le froid permettent également d'améliorer la germination [20].

L'ensemble des caractéristiques recherchées par les agriculteurs augmentent la compétitivité entre les différents agents du priming (hydropriming, osmopriming, biopriming, hormopriming, nutrimpriming et le priming chimique). L'effet du priming est directement corrélé à la vigueur des semences, considérée comme un trait agronomique complexe contrôlé par de multiples facteurs génétiques et environnementaux [21-23]. Selon Khan et Mukherjee [24, 25], toute substance ou micro-organisme appliqué aux végétaux dans le but d'améliorer son efficacité nutritionnelle, ses caractéristiques qualitatives et toute forme de résistance aux stress, quelle que soit leur teneur en nutriments. Dans cette optique, les algues et dérivés sont une source importante de biostimulants qui ont démontré leurs efficacités dans l'amélioration de la croissance et le rendement de manière durable chez diverses plantes cultivées [24].

L'objectif de notre étude est d'évaluer la capacité stimulatrice de l'extrait aqueux de l'algue verte *Ulva rigida* par recours à la technique de priming. Une meilleure compréhension des événements morpho-physiologiques se produisent chez les graines de blé dur pendant le traitement d'amorçage nous permettra de corréler la vigueur des graines aux différentes concentrations de l'agent du priming. L'atteinte de cet objectif signifie pour l'agriculture : (i) augmentation du potentiel de germination des semences, (ii) une production plus uniforme et un gain de croissance des semis (iii) une meilleure utilisation des ressources biologiques limitées que sont les graines provenant des vergers à graines.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

1. Présentation du matériel végétal

La semence utilisée dans cette étude est celle du blé dur (*Triticum turgidum* subsp. *durum*), variété Vitron G4. La faculté germinative a été estimée à 92%. Les graines sont stérilisées par le chlorure de sodium pendant 20 min à 20 % (v/v), puis rincées et trempées dans de l'eau distillée et séchées dans une étuve ventilée. Cette procédure est nécessaire pour éviter la contamination par les microorganismes pendant la germination.

L'algue verte, *Ulva rigida* a été collectée en mer dans une eau peu profonde (< à 2m) au printemps 2018, dans la région côtière de Bou-Ismaïl (Wilaya de Tipasa) (36° 38'17,517"N 2° 42' 12,087" E Algérie). Un rinçage a été préconisé pour les algues collectées,

afin d'éviter la présence de sel et d'éliminer les impuretés comme les particules de sable. La biomasse algale a été séchée dans une étuve ventilée à 40°C pendant 24h et réduites en poudre par un broyeur à hélice (Ryobi, Al-ko).

L'identification de l'algue fraîche a été réalisée au Centre de Recherche et de Développement de la Pêche et l'Aquaculture, Algérie, selon les descriptions de Cabioc'h et Hamel [26, 27] (Fig. 1).

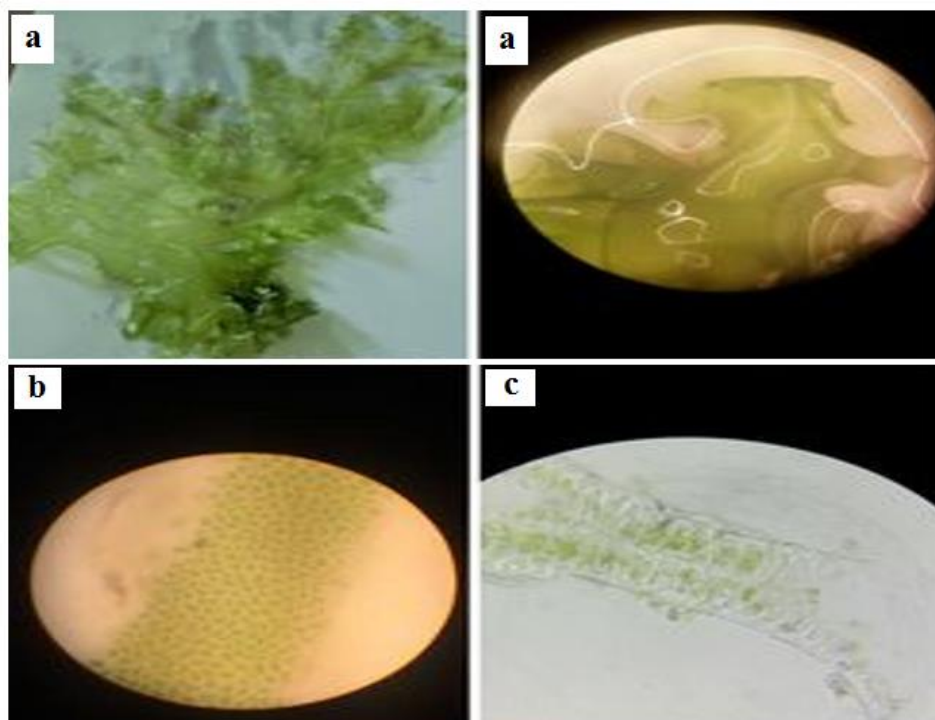


Figure 1: Aspect micro et macroscopiques d'*Ulva rigida* (original)

a: Aspect macroscopique d'*Ulva rigida*., b: aspect microscopique général des cellules rectangulaires étroitement disposées, c: Coupe montrant deux couches de cellules superposées. G ×40

2. Préparation de l'extrait aqueux d'algue

Selon la méthode d'écrite par Roy [28], dans une fiole, 60 g de poudre algale a été mélangée à 400ml d'eau distillée. Le mélange a été homogénéisé sous agitation magnétique pendant 72 h à température ambiante. Après filtration, le filtrat a été centrifugé à 4000 tr/min pendant 15 minutes. Le surnageant (extrait aqueux) est récupéré puis conservé à l'obscurité et à basse température dans des flacons de couleur sombre. L'extrait aqueux préparé à base d'*Ulva rigida* été dilué dans de l'eau courante selon quatre concentrations : 1 ml/250 ml, 0,5 ml/250 ml, 0,3 ml/250 ml, 0,2 ml/250 ml.

3. Conduite de l'essai

L'expérimentation a été réalisée au sein du laboratoire de recherche de Biotechnologie des Productions végétales de l'Université de Blida 1 (36° 30'36,34'' N et 2° 52'26,05''E, Algérie) pendant la saison 2018. Les graines ont été décomptées en 5 lots de 50 graines, selon le nombre de traitements. Chaque lot a été soumis à une concentration de l'extrait aqueux. Les graines du traitement témoin ont été également amorcées avec de l'eau courante (hydropriming). L'imprégnation a été effectuée dans l'obscurité à 23°C pendant 6h.

Les graines ont, ensuite, été lavées trois fois avec de l'eau désionisée stérile pour éliminer les résidus de l'extrait aqueux et séchées sous flux d'air jusqu'à ce qu'elles atteignent leur niveau d'humidité initial. L'expérience d'amorçage de la germination a été réalisée dans des boîtes de Pétri de 9cm de diamètre dans un hortibox (16h/8h de photopériode, 23°C et 80% d'humidité). L'imbibition des graines a été réalisée selon les concentrations arrêtées (1 ml ; 0,5 ml ; 0,3 ml ; 0,2 ml), le traitement du lot témoin a reçu de l'eau courante. L'essai a été conduit en cinq répétitions. Le suivi du processus de germination a été réalisé pendant 10 jours. La graine a été considérée comme germée, lorsque la radicule a percé l'enveloppe. A ce stade, différents paramètres de germination ont été déterminés comme déjà cité par Cherif et al. [29].

-Le pourcentage de germination totale (TG) a été calculé selon la formule : $TG (\%) = \frac{\text{Nombre de graines germées}}{\text{Nombre de graines semées}} * 100$

-Le pourcentage de taux d'inhibition a été calculé selon la formule : $Ti (\%) = \frac{\text{Nombre de graines semées}}{\text{Nombre de graines germées}} * 100$

- L'index de germination a été calculé selon la formule : $GI = \sum \left(\frac{N_i}{T_i} \right)$, Avec : T_i = nombre de jours après le semis, N_i = le nombre de graines germées le $i^{\text{ème}}$ jour.

-La vitesse de germination a été calculée selon la formule : $CV = \frac{N1+N2+...+Nn}{(N1T1+N2T2+...+NnTn)} \times 100$. Avec : $N1$: nombre de graines germées au temps $T1$, $N2$: nombre de graines germées au temps $T2$, Nn : nombre de graines germées au temps Tn .

-La longueur des parties aérienne et racinaire exprimé en (cm²), ont été estimés par analyse d'image (image analysis software Digimizer ver. 3.0. (MedCalc Software bv, Ostend, Belgium))

-La masse sèche a été déterminée après séchage à 80°C pendant 24h, quant au pois frais, il est exprimé en (g).

Les polyphénols totaux ont été déterminés par la méthode décrite par Shao et al. [30]. 0,5-1g de graines a été extrait avec 10mL d'éthanol 80% puis a été centrifugé à 10,000 tours/min pendant 20min. Le surnageant a été récupéré et laissé évaporer pendant 20 min à température ambiante. Les résidus ont été récupérés dans de l'eau distillée. 0,5 mL de ce dernier a été additionnée à 2,5 mL de Folin Ciocalteu 1N et à 2 mL de Na₂CO₃ 7,5%. Après agitation, le mélange a été gardé à l'ombre pendant 30 min à température ambiante. L'absorbance a été effectuée à 760 nm. L'acide gallique a été utilisé comme standard pour la courbe d'étalonnage. La teneur en composés phénoliques est exprimée en équivalent d'acide gallique en utilisant équation linéaire de la courbe d'étalonnage : $Y = 0,0019X + 0,0306$, $R^2 = 0,9986$, où Y est l'absorbance et X est la concentration en acide gallique équivalents (g/mL).

4. Analyses statistiques des données

Une analyse de variance a été réalisée afin de détecter les différences significatives pour les facteurs étudiés en utilisant la procédure ANOVA de SAS (SAS Institute, 1987, Cary, NC, USA). Le test de Tukey, à un niveau de probabilité de 0,5%, a été utilisé pour comparer les moyennes par paire.

RÉSULTATS

1. Effet des différentes concentrations d'amorçage sur le taux de germination des graines

Selon la figure 1, l'évolution temporelle des taux de germination observée chez les graines de blé dur sous l'effet de l'extrait aqueux d'*Ulva rigida*, montre un effet stimulateur contrasté selon le degré de concentration des traitements, obéissant à un gradient négatif $1\text{ml} < 0,5\text{ ml} < 0,3\text{ ml} < 0,2\text{ ml}$ (Fig. 1a). Le taux de germination signalé sous l'effet des différents traitements se détache du taux de germination signalé chez le témoin. Au bout du 4^{ème} jour, la concentration 0,2 ml atteint son niveau maximum par rapport aux autres concentrations et marque le 100% du taux de germination. Dès le 4^{ème} jour et jusqu'au 10^{ème} jour, les valeurs du taux de germination expriment une certaine stabilité dans la germination. A cet effet, les graines de blé amorcées dans la concentration 0,2 ml d'extrait aqueux enregistrent le taux de germination le plus élevé, secondé par les concentrations 0,3 ml, 0,5 ml, 1 ml et le témoin selon un ordre croissant qui marque le taux de germination de plus en plus faible. Les graines amorcées dans l'eau (témoin) marquent de taux de germination le plus faible pendant 10 jours affichant un taux de 82% par rapport aux concentrations d'extrait aqueux d'*U. rigida*. Dans la mesure où les résultats d'amorçage des graines de blé par l'extrait aqueux d'*U. rigida* ont signalé des rapprochements en termes de taux de germination, nous avons préféré visualiser l'effet d'amorçage durant les premiers jours d'imprégnation des graines dans l'extrait aqueux d'*U. rigida*. Plus précisément, nous avons cherché des rapprochements ou des divergences entre les différentes concentrations. La Figure (1a'), indique les fluctuations les plus détaillées du taux de germination pendant les quatre premiers jours de la germination de blé sous effets de 4 différentes concentrations et leur témoin. Au bout du 2^{ème} jour la concentration 0,5mL de l'extrait aqueux indique le taux de germination le plus élevé estimé à 60%, suivie par les concentrations 0,2 ml, 0,3 ml, témoin, 1 ml selon un ordre croissant. Au 3^{ème} jour, le témoin mentionne le taux de germination le plus élevé et se stabilise à une valeur inférieure à la concentration 0,2 ml au 4^{ème} jour.

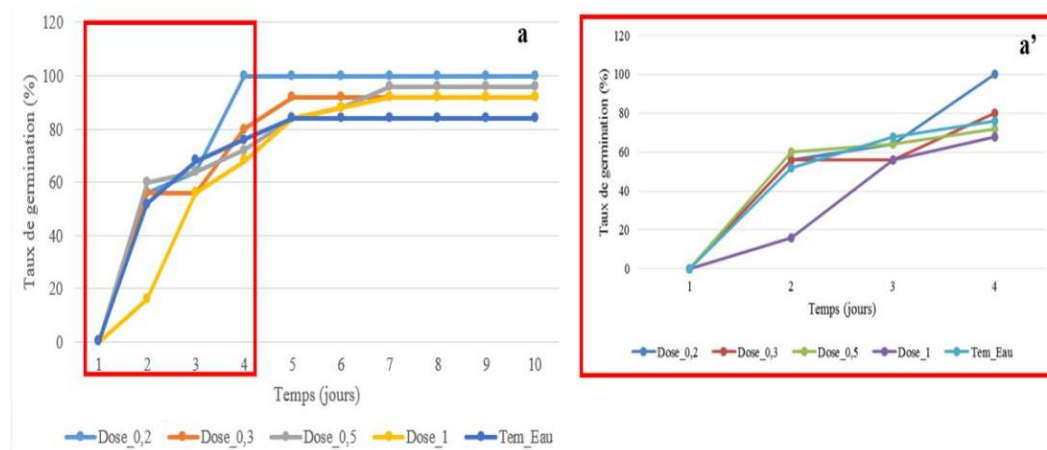


Figure 1: Fluctuations temporelles des taux de germination

a : période de l'essai (10 jours), a' : 4 premiers jours de l'essai

Nous nous proposons de comparer les taux de germination selon les concentrations d'amorçage utilisées. Si on fait référence au test de χ^2 , les valeurs signalées ainsi que les probabilités associées (Tableau 1), démontrent clairement que l'hypothèse de différence d'effet est confirmée. L'effet stimulateur de germination par amorçage des graines par l'extrait aqueux d'*U. rigida* à la concentration 0,2 ml enregistre une différence significative par comparaison aux différents traitements. Par ailleurs, les concentrations d'amorçage 0,3 ml et 0,5 ml ne signalent aucune différence

significative en termes de stimulation de la germination des graines ($\chi^2=2,94$, $p=0,404$, $p>5\%$). D'un autre point de vue, lesdites concentrations d'amorçage 0,3 ml ($\chi^2=3,39$, $p=0,334$, $p>5\%$) et 0,5 ml ($\chi^2=1,67$, $p=0,642$, $p>5\%$) ne signalent aucune différence significative avec le témoin (imprégnation dans l'eau). En revanche, pour la concentration d'amorçage 1ml, le test affiche la présence d'une différence hautement significative par rapport aux concentrations utilisées et par rapport au témoin.

Tableau 1: Effet comparé des concentrations l'extrait aqueux de l'algue verte *Ulva rigida* sur le taux de germination des graines de blé (Test χ^2 /probabilités associées)

	Dose_0,2	Dose_0,3	Dose_0,5	Dose_1	Tem_Eau
Dose_0,2	-	0,02277**	0,00264**	1,11×10 ⁻²⁵ ***	0,01084*
Dose_0,3	16,83	-	0,404 ^{NS}	8,22×10 ⁻⁷ ***	0,334 ^{NS}
Dose_0,5	14,2	2,94	-	2,37×10 ⁻²⁶ ***	0,642 ^{NS}
Dose_1	119,25	31,06	122,38	-	3,84×10 ⁻⁶ ***
Tem_Eau	11,17	3,39	1,67	27,88	-

NS : Non significative à 5%, * : Significative à 5%, ** : Significative à 1%, *** : Significative à 0,1%

2. Effet des différentes concentrations d'amorçage sur le taux d'inhibition des graines

Le graphique (Fig. 2b) montre les fluctuations du taux d'inhibition de germination sous l'effet de 4 concentrations ainsi que le témoin. Au bout du 4^{ème} jour, la concentration 0,2 mL atteint son niveau minimal par rapport aux autres concentrations et marque le taux d'inhibition 0%. Dès le 4^{ème} jour et jusqu'au 10^{ème} jour, les valeurs restent constantes, ce qui confirme sa capacité à booster le taux de germination (Fig. 1). Par ailleurs, la concentration 0,2 ml a exhibé

le taux d'inhibition le plus faible, suivie par les concentrations 0,3 ml et 0,5 ml, selon un ordre décroissant qui marque un taux d'inhibition de plus en plus faible. La concentration 1mL, en revanche, a montré le taux le plus élevé pendant 10 jours. La Figure 3b' indique les fluctuations les plus explicites du taux d'inhibition pendant les quatre premiers jours de la germination. Au bout du 2^{ème} jour, la concentration 1mL de l'extrait aqueux indique le taux d'inhibition le plus élevé estimé de 80%, affichant un écart par rapport au témoin et aux concentrations 0,3 ml, 0,2 ml.

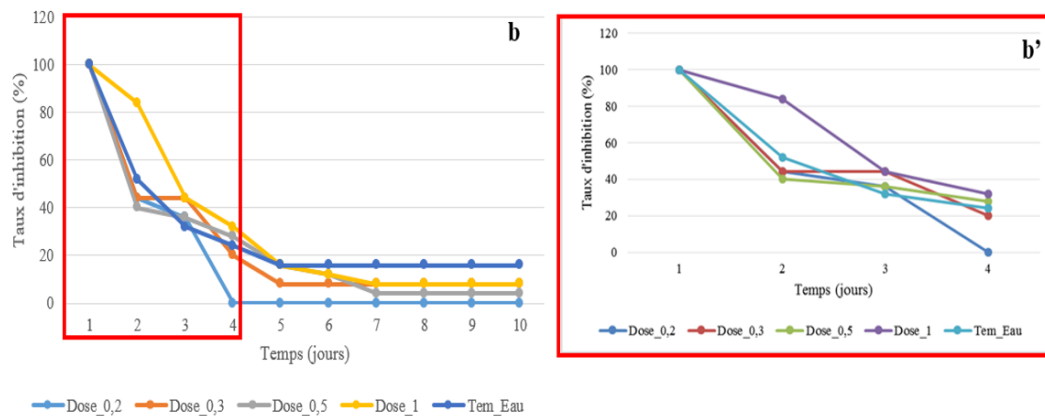


Figure 2: Fluctuations temporelles des taux d'Inhibition
b: période de l'essai (10 jours), b' :4 premiers jours de l'essai

Les résultats relatifs aux valeurs du test de χ^2 , montrent la présence de différence d'effet d'inhibition selon les concentrations d'amorçage (Tableau 2). Ainsi, pour la concentration d'amorçage 0,2 mL, elle ne signale aucune différence d'effet par rapport au témoin traité à l'eau ($\chi^2=2,73$, $p=0,137$, $p>5\%$). Concernant les concentrations d'amorçage 0,3 ml et 0,5 ml testées sur les

graines du blé, les χ^2 types sont les plus fortes par rapport au témoin et à la concentration 0,2 ml. Les concentrations 0,3 ml et 0,5 ml, semblent, avoir plutôt un effet inhibiteur sur la germination des graines. Il est plus visible pour la concentration d'amorçage 1mL, en tenant compte des valeurs de χ^2 et leurs probabilités associées.

Tableau 2: Effet comparé des concentrations de l'extrait aqueux de l'algue verte *Ulva rigida* sur le taux d'inhibition des graines de blé (Test χ^2 /probabilités associées)

	Dose_0,2	Dose_0,3	Dose_0,5	Dose_1	Tem_Eau
Dose_0,2	-	$2,36 \times 10^{-11}^{***}$	$2,99 \times 10^{-6}^{***}$	$3,10 \times 10^{-5}^{***}$	0,137 ^{NS}
Dose_0,3	27,73	-	0,1704 ^{NS}	$2,99 \times 10^{-6}^{***}$	$2,99 \times 10^{-6}^{***}$
Dose_0,5	28,4	5,01	-	$5,53 \times 10^{-11}^{***}$	$3,684 \times 10^{-8}^{***}$
Dose_1	38,14	23,54	50,74	-	$6,30 \times 10^{-6}^{***}$
Tem_Eau	2,73	9,52	7,93	26,85	-

NS : Non significative à 5%, * : Significative à 5%, ** : Significative à 1%, *** : Significative à 0,1%

2. Effet des différentes concentrations d'amorçage sur la vitesse de germination

Dans la mesure où il existe des corrélations entre les concentrations d'amorçage et la vitesse de germination, nous pouvons tester si cette dernière a varié dans le sens d'un rapprochement ou d'un éloignement par rapport aux concentrations. Nous avons donc comparé les valeurs de la vitesse de germination entre les 5 traitements par le test One-way ANOVA. La différence d'effet - concentrations sur la vitesse de germination est très hautement significative (Fig. 3). Le test Post hoc de Tukey, indique que les graines du blé exprimant la vitesse de germination la plus élevée (20,08%) sont celles amorcées par la concentration 0,2 ml de l'extrait aqueux d'*Ulva rigida*. Elles appartiennent par conséquent au groupe homogène (a). Les concentrations 0,5 ml et 0,3 ml de l'extrait aqueux expriment la vitesse de croissance intermédiaire (20,03 et 20,05%), le test Post hoc, les classent dans le groupe homogène (ab).

Les graines témoin affichent une vitesse modérée de l'ordre de 19,989%, occupant ainsi le groupe homogène (b). Les graines exprimant la vitesse de germination la plus faible (19,33%), sont celles amorcées par la concentration de 1ml (groupe homogène c).

3. Effet des différentes concentrations d'amorçage sur l'index de germination

Le test One-way ANOVA réconforté par le test Post hoc de Tukey (Fig. 4), annoncent que la concentration 0,2 ml de l'extrait aqueux exprime l'indice de germination le plus élevé (81,80%) ($p < 0,1\%$). Les concentrations 0,3 ml, 0,5 ml et le témoin, affichent le deuxième palier en termes de valeur de l'indice de germination (groupe homogène b). L'indice de germination le plus faible (65,73%), est enregistré sous l'effet de la concentration 1ml.

4. Effet de différentes concentrations d'amorçage sur les paramètres morphologiques

Une analyse de la variance a été conduite sur la variation du poids frais et poids sec des graines de blé amorcées (extraits aqueux d'*U. rigida* et eau courante) (Tableau 3). L'analyse a permis de conclure que le facteur traitement n'influence pas le poids des graines ($p > 5\%$). Concernant la longueur de la partie aérienne des plantules de blé dur, l'analyse One-way ANOVA, montre un effet significatif des

concentrations sur la longueur de la partie aérienne. Sous l'effet des deux concentrations 0,2 et 0,3 ml nous signalons les valeurs les plus élevées de la partie aérienne (Tableau 3). Cependant, la concentration 0,2 ml de l'extrait aqueux d'*Ulva rigida*, conduit à la plus importante elongation de la partie racinaire des plantules de blé dur. Les concentrations 0,3 ml, 0,5 ml et 1 ml, enregistrent des croissances racinaires intermédiaires par comparaison à la concentration 0,2 ml et au témoin (Tableau 3).

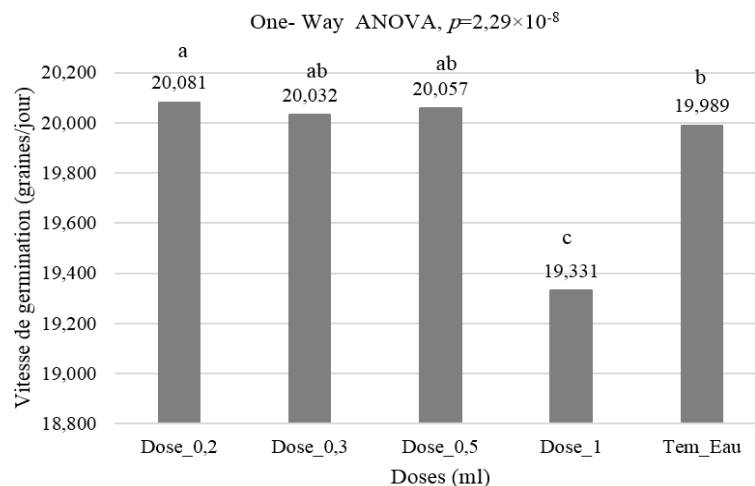


Figure 3: Effet des concentrations de l'extrait d'algue verte sur la vitesse de germination
Les valeurs avec les lettres sont significativement différentes à $p < 0,1\%$, selon le test de Tukey $a > b > c$

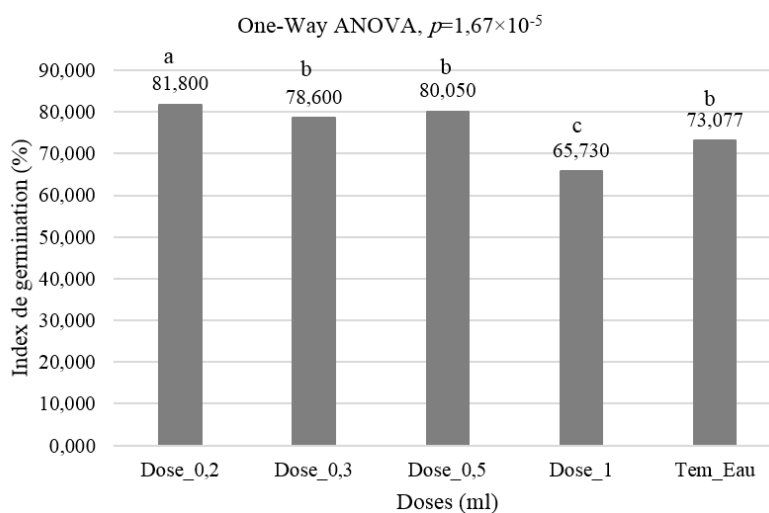


Figure 4: Effet des concentrations de l'extrait d'algue verte sur l'index de germination
Les valeurs avec les lettres sont significativement différentes à $p < 0,1\%$, selon le test de Tukey $a > b > c$

Tableau 3: Variation des paramètres morpho-physiologique sous l'effet de la concentration de l'extrait d'algue verte

	PF	PS	PA	PR	Poly
Dose_0,2	0,0904 (0,0404)	0,0768 (0,0954)	11,6904a (0,1326)	4,7140a (0,0536)	0,1712a (0,0296)
Dose_0,3	0,0852 (0,0899)	0,044 (0,0742)	13,3584a (0,0975)	2,9430b (0,0839)	0,1604a (0,0200)
Dose_0,5	0,0843 (0,0955)	0,0444 (0,1070)	1,3587b (0,1322)	2,1982b (0,0102)	0,1503a (0,0661)
Dose_1	0,0876 (0,0212)	0,0448 (0,0414)	1,3273b (0,0779)	0,6343d (0,1285)	0,1479b (0,0544)
Tem_Eau	0,0812 (0,0959)	0,0381 (0,0706)	1,0275c (0,0906)	1,6311c (0,0740)	0,1429b (0,0403)
<i>f</i>	0,1189	0,8076	18,53	4,128	2,73
<i>p</i>	0,9742 ^{NS}	0,5349 ^{NS}	3,43×10 ^{-7***}	6,81×10 ^{-3**}	0,0478

Les résultats sont exprimés en Moyenne arithmétique+ Coefficient de variation (nombre de répétitions n = 5).

PF : Poids frais, PS : Poids sec, PA : Partie aérienne, PR : Partie racinaire, Poly : Polyphénols totaux

Pour chaque colonne, les valeurs avec les lettres sont significativement différentes à $p < 0,1\%$, selon le test de Tukey a> b> c

4. Effet de différentes concentrations d'amorçage sur les polyphénols totaux

Le test One-way ANOVA, signale la présence d'une différence significative en termes de capacité d'accumulation des polyphénols totaux sous l'effet des concentrations de l'extrait aqueux d'*U. rigida*. Les groupes homogènes définis par le test Post hoc, annoncent que les concentrations 0,2 ml, 0,3 ml et 0,5 ml, engendrent les taux d'accumulations les plus élevés en polyphénols totaux par comparaison à la concentration 1ml et au témoin (Tableau 3).

DISCUSSION

La stimulation de la germination des graines sous les contraintes climatiques et l'amélioration de ses qualités sont considérée comme un challenge pour les chercheurs, car ils représentent un enjeu de haute importance agro-économique. L'algue marine verte *Ulva rigida*, un déchet de mer, renferme des propriétés intéressantes, un bioproduit comme usage, dans la mesure où elle sera inclinée vers cette hypothèse. Cette étude œuvre pour démontrer que l'utilisation de l'algue marine verte *Ulva rigida* et dérivés comme agent de priming permettra une augmentation du potentiel de germination des semences.

Nombreuse études ont démontré que les algues marines améliorent la germination des graines chez différentes espèces végétales [24, 31, 32, 33, 34]. Accompagné avec la technique de priming, elle ajoute une valeur remarquable. Par références à nos résultats, nous dénotons que les graines de blé amorcées dans l'eau comme témoin (type hydropriming) ont enregistrées les plus faibles valeurs pour l'ensemble des paramètres étudiés (taux, vitesse et index de germination, longueur des parties aériennes et racinaire des graines) par rapport à celles amorcées par l'extrait aqueux d'*Ulva rigida*,

qui marquent les valeurs les plus élevées sur les mêmes paramètres. Cet état de fait, nous emmène à prendre en considération le type d'amorçage appropriés aux graines qui booste la germination et stimule son développement [22, 35]. Ainsi, Dezfali *et al.* [36], ont révélé que les différents types d'amorçage peuvent avoir divers effets sur la germination des semences de maïs, dont la plupart des paramètres de germination évalués ont montré que l'hydropriming était plus efficace que l'osmopriming. Nos résultats ont montré que le priming était un bon moyen d'hydratation pour les graines de blé, dont il a participé à l'absorption de diverse éléments présents dans l'extrait aqueux d'*Ulva rigida*, en rapport avec sa composition riche en micro et macroéléments, vitamines, polysaccharides et hormones de croissances [36, 37]. Cette capacité d'absorption, a permis aux graines amorcées dans l'extrait de recevoir une stimulation germinative très élevée, dont le taux de germination a été estimé à 100%, comme annoncé par Demir *et al.* [38] dans son étude à travers l'utilisation d'un extrait d'algue verte *Codium tomentosum* comme agent de priming marquant ainsi, un taux de germination élevé pour des graines de poivron (68%) et d'aubergine (91%). Muthu-Pandian Chanthini *et al.* [39], rajoutent que l'algue verte *Chaetomorpha antennina* stimule la germination des graines de tomate à un taux de (98,52%). La présente étude, suggère qu'*Ulva rigida* est un excellent agent de priming incliné dans la stimulation des graines de blé. À faible concentration 0,2 mL, elle peut augmenter le taux, la vitesse et l'index de germination, tandis que les concentrations 0,3 mL et 0,5 mL, prennent le statut intermédiaire, entre faible stimulation et faible inhibition.

À forte concentration (1 mL), le taux d'inhibition est le plus élevé et par conséquent, le taux de germination sera le plus faible. Cette corrélation négative corrobore avec les conclusions d'El-Katony [40], qui annonce que le taux de germination a été nettement réduit avec l'augmentation de concentration d'extrait d'algue, atteignant un minimum à 10 g.L⁻¹, avec une augmentation relativement faible à des concentrations plus élevées. Notre étude démontre que la forte concentration (1 ml) d'extrait aqueux d'*U. rigida*, est considérée comme une concentration contraignante à la germination et prend un pouvoir inhibiteur, qui pourra être l'exploité en cas de nécessité comme herbicide. En revanche, les graines de blé amorcées dans la concentration la plus faible (0,2 ml) de l'extrait aqueux d'*U. rigida* mentionne l'efficacité la plus élevées. Cette divergence d'effet en matière de concentration, rejoint les conclusions de Sivritepe et Sivritepe [41], qui stipulent que la concentration 1: 500 de la solution d'extrait d'algues assure les meilleurs effets positifs pour la germination des graines du poivron. Nos résultats informent aussi que la division et l'élongation cellulaire des deux parties aériennes et racinaires et dans la stimulation germinative (taux de germination, vitesse de germination et index de germination) sont corrélés positivement avec la faible concentration de l'extrait aqueux d'*U. rigida*. Nos remarques sont en accord avec les résultats publiés par Kavipriya [42], sur l'efficacité d'extraits d'algues vertes d'*Ulva lactuca* et de *Caulerpa scalpelliformis* sur des graines de graminées, qui augmentaient les paramètres de croissance. À propos de son pouvoir germinatif, l'extrait aqueux d'algue verte *U. rigida*, en tant qu'agent de priming, il contribue à une amélioration des paramètres physiologiques des graines de blé où les trois traitements (0,2 ml, 0,3 ml et 0,5 ml), stimulent l'expression des polyphénols totaux. Ces derniers sont des antioxydants, qui sont sécrétés suite à un stress oxydatif causé par la surproduction des ROS élevées, afin d'atténuer les dommages causés dans les tissus. Ces composés pourraient neutraliser l'effet néfaste et toxique des hydroxydes, superoxydes et des radicaux peroxydes dans les tissus [43, 44], de ce fait, les faibles concentrations protègent les graines des différents stress biotique et abiotique et assurent une germination dans les lieux où les conditions climatiques où les contraintes peuvent subsister.

CONCLUSION

Compte tenu des conclusions importantes, l'agent de priming d'*Ulva rigida* est un composé promoteur pour améliorer la germination des graines de blé. Ses effets reposent sur des concentrations à double finalité, d'une part, stimulatrice à faible concentration participant ainsi à la germination et assure le développement de la graine, d'autre part, inhibitrice à forte concentration où il peut servir comme herbicide pour des adventices. Cette étude ouvre des perspectives quant à l'utilisation d'une ressource renouvelable pour stimuler la germination des graines des espèces cultivées en substitution aux produits d'origine chimique. Le présent agent de priming peut être recommandé aux producteurs pour obtenir une meilleure germination, croissance et rendement des plantes cultivables.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1]. Everari M (1984). Seed physiology: its history from antiquity to the beginning of the 20th century. *Bot Rev* 50:119–142
- [2]. Theophrastus (S.D.). Enquiry into plants, Book VII, I.6
- [3]. Osburn, R.M., Schroth, M.N., Hancock, J.G., and Hendson, M. (1989). Dynamics of sugar beet seed colonization by *Pythium ultimum* and *Pseudomonas* species: effects on seed rot and damping-off. *Phytopathology*, 79(6): 709–716.
- [4]. Nellemann, C., & Corcoran, E. (2010). *Dead planet, living planet: Biodiversity and ecosystem restoration for sustainable development: A rapid response assessment*. UNEP/Earthprint.
- [5]. Davies K.W., Boyd C.S., Beck J.L., Bates J.D., Svejcar T.J. and, Gregg M.A. (2011). Saving the sagebrush sea: an ecosystem conservation plan for big sagebrush plant communities. *Biological Conservation*. 144:2573–2584. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2011.07.016>
- [6]. Bernstein E.J., Albano C.M., Sisk T.D., Crews T.E. and Rosenstock S. (2014). Establishing Cool-Season Grasses on a Degraded Arid Rangeland of the Colorado Plateau. *Restoration Ecology*. 22: 57– 64. <https://doi.org/10.1111/rec.12023>
- [7]. Lutts, S., Benincasa, P., Wojtyla, L., Kubala, S., Pace, R., Lechowska, K., Quinet, M., and Garnczarska, M. (2016). Seed Priming: New Comprehensive Approaches for an Old Empirical Technique. In "New Challenges in Seed Biology - Basic and Translational Research Driving Seed Technology".
- [8]. Bewley J.D. (1997). Seed germination and dormancy. *Plant Cell*. 9:1055–1066. <https://doi.org/10.1105/tpc.9.7.1055> PMID: 12237375
- [9]. Arif, M.; Jan, M.T.; Khan, N.U.; Khan, A.; Khan, M.J. and Munir, I. (2010). Effect of seed priming on growth parameters of soybean. *Pakistan Journal of Botany*, 42(4):2803–2812
- [10]. Arif, M.; Jan, M.T.; Mian, I.A.; Khan, S.A.; Hollington, P. and Harris, D. (2014). Evaluating the impact of osmopriming varying with polyethylene glycol concentrations and durations on soybean. *International Journal of Agriculture and Biology*, 16(2):359–364

- [11]. Dezfuli, P.M., Sharif-zadeh, F., and Janmohammadi, M. (2008). Influence of priming techniques on seed germination behavior of maize inbred lines (*Zea mays* L.). *Journal of Agricultural and Biological Science* 3 (3): 22-25.
- [12]. Batista, T.B., Cardoso, E.D., Binotti, F.F. da S., Costa, E., and Sá, M.E. (2016). Priming and stress under high humidity and temperature on the physiological quality of *Brachiaria brizantha* cv. MG-5 seeds. *Acta Scientiarum. Agronomy*, 38(1): 123. doi:10.4025/actasciagron.v38i1.26021
- [13]. Pallaoro, D.S., Camili, E.C., Guimarães, S.C., and Albuquerque, M.C. (2016). Methods for priming maize seeds. *Journal of Seed Science*, 38(2): 148–154. doi:10.1590/2317-1545v38n2161132
- [14]. Gouveia, G.C.C., Binotti, F.F. da S., and Costa, E. (2017). Priming effect on the physiological potential of maize seeds under abiotic stress. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, 47(3) : 328–335. doi:10.1590/1983-40632016v4746560
- [15]. Pereira, M.D., Dias, D.C.F. dos S., Dias, L.A. dos S., and Araújo, E.F. (2009). Primed carrot seeds performance under water and temperature stress. *Scientia Agricola*, 66(2), 174–179. doi:10.1590/s0103-90162009000200005
- [16]. Beata, M.-K., Zdzisław, W., Vladimír, P., Marek, R., and Agnieszka, R. (2018). The effect of seed priming on field emergence and root yield of sugar beet. *Plant, Soil and Environment*, 64(5): 227–232. doi:10.17221/136/2018-pse
- [17]. Yasari, E.; Soraki, S.Y. and Saravi, K.O. (2013). Appraisal of the effects of osmopriming and hydro-priming treatments on the seeds of corn (*Zea mays* L.) cultivars. *International Journal of Agronomy and Plant Production*, 4:195-203
- [18]. Bailly, C., Benamar A., Corbineau F., and Come D. (1998). Free radical scavenging as affected by accelerated ageing and subsequent priming in sunflower seeds. *Physiologia Plantarum* 104(4):646-652. doi:10.1034/j.1399-3054.1998.1040418.x.
- [19]. Butler, L.H., Hay F.R., Ellis R.H., Smith R.D., and Murray T.B. (2009). Priming and re-drying improve the survival of mature seeds of *Digitalis purpurea* during storage. *Annals of Botany* 103:1261-1270. doi:10.1093/aob/mcp059.
- [20]. Thakur, A., Sharma, K.D., Siddique, K.H.M., and Nayyar, H. (2020). Cold priming the chickpea seeds imparts reproductive cold tolerance by reprogramming the turnover of carbohydrates, osmo-protectants and redox components in leaves. *Scientia Horticulturae*, Volume 261.
- [21]. Paparella, S., Araujo, S.S., Rossi, G., Wijayasinghe, M., Carbonera, D., and Balestrazzi, A. (2015). Seed priming: state of the art and new perspectives. *Plant Cell Rep* 34:1281-93.
- [22]. Jisha, K.C., Vijayakumari, K., and Puthur, J.T. (2012). Seed priming for abiotic stress tolerance: an overview. *Acta Physiologiae Plantarum* 35:1381-1396.
- [23]. Lutts, S., Benincasa, P., Wojtyla, L., Kubala, S., Pace, R., Lechowska, K., Quinet, M., and Garnczarska, M. (2016). Seed Priming: New Comprehensive Approaches for an Old Empirical Technique. In "New Challenges in Seed Biology - Basic and Translational Research Driving Seed Technology".
- [24]. Khan, W., Rayirath, U.P., Subramanian, S., Jithesh, M.N., Rayorath, P., Hodges, D.M., Critchley, A.T., Craigie, J.S., Norrie, J., and Prithiviraj, B. (2009). Seaweed Extracts as Biostimulants of Plant Growth and Development. *Journal of Plant Growth Regulation* 28:386-399.
- [25]. Mukherjee, A., and Patel, J.S. (2019). Seaweed extract: biostimulator of plant defense and plant productivity. *International Journal of Environmental Science and Technology* 17 :553-558.
- [26]. Cabioc'h, J., Floc'h, J.-Y., Le Toquin, A., and Boudouresque, C.F. (2006). "Guide des algues des mers d'Europe," Ed. Delachaux et Niestlé, 272 p
- [27]. Hamel, G. (1975). Phéophycées de France. Fasc . 1 . Paris . Pp . 1 – 80
- [28]. Roy S., (2011). A multiple network learning approach to capture system-wide condition-specific responses. *Bioinformatics Research Support, N.I.H.*, 27(13):1832-8.
- [29]. Cherif, R., Kemassi, A., Boual, Z., Bouziane, N., Benbrahim, F., Hadjseyd, A., Gharib, T., Ould el Hadj-Khelil, A., Sakeur, M. L., and Ould el Hadj, M. D. (2016). Activités biologiques des extraits aqueux de *Pergularia tomentosa* L. (Asclepiadaceae). *Lebanese Science Journal* 17:25-35.
- [30]. Shao, P., Zhang, H., Niu, B., and Jiang, L. (2018). Antibacterial activities of R-(+)-Limonene emulsion stabilized by *Ulva fasciata* polysaccharide for fruit preservation. *Int J Biol Macromol* 111: 1273-1280.
- [31]. Craigie, J.S. (2010). Seaweed extract stimuli in plant science and agriculture. *Journal of Applied Phycology* 23:371-393.
- [32]. Hernández-Herrera, R.M., Santacruz-Ruvalcaba, F., Ruiz-López, M.A., Norrie, J., and Hernández-Carmona, G. (2013). Effect of liquid seaweed extracts on growth of tomato seedlings (*Solanum lycopersicum* L.). *Journal of Applied Phycology* 26: 619-628.
- [33]. K.V, S., Behera, B., and P, B. (2020). Efficacy of microalgal extracts as biostimulants through seed treatment and foliar spray for tomato cultivation. *Industrial Crops and Products* Volume 151.
- [34]. Michalak, I., Lewandowska, S., Niemczyk, K., Detyna, J., Bujak, H., Arik, P., and Bartniczka, A. (2019). Germination of soybean seeds exposed to the static/alternating magnetic field and algal extract. *Eng Life Sci* 19:986-999.
- [35]. Lutts, S., Benincasa, P., Wojtyla, L., Kubala, S., Pace, R., Lechowska, K., Quinet, M., and Garnczarska, M. (2016). Seed Priming: New Comprehensive Approaches for an Old Empirical Technique. In "New Challenges in Seed Biology - Basic and Translational Research Driving Seed Technology".
- [36]. Dezfuli, P.M., Sharif-zadeh, F., and Janmohammadi, M. (2008). Influence of priming techniques on seed germination behavior of maize inbred lines (*Zea mays* L.). *Journal of Agricultural and Biological Science* 3 (3):22-25.
- [37]. Gao, G., Clare, A. S., Chatzidimitriou, E., Rose, C., and Caldwell, G. (2018). Effects of ocean warming and acidification, combined with nutrient enrichment, on chemical composition and functional properties of *Ulva rigida*. *Food Chem* 258, 71-78
- [38]. Demir, I., & Mavi, K. (2004). The effect of priming on seedling emergence of differentially matured watermelon (*Citrullus lanatus* (Thunb.) Matsum and Nakai) seeds. *Scientia Horticulturae*, 102(4):467–473. doi:10.1016/j.scienta.2004.04.012

- [39]. Muthu-Pandian Chanthini, K., Senthil-Nathan, S., Stanley-Raja, V., Thanigaivel, A., Karthi, S., Sivanesh, H., Sundar, N. S., Palanikani, R., and Soranam, R. (2019). *Chaetomorpha antennina* (Bory) Kützinger derived seaweed liquid fertilizers as prospective bio-stimulant for *Lycopersicon esculentum* (Mill). *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology* Volume 20.
- [40]. El-Katony, T.M., Deyab, M.A., El-Adl, M.F., and Ward, F. M. E.-N. (2020). Extracts of the brown alga *Dictyota dichotoma* (Hudson) J.V. lamouroux alleviate salt stress in rice (*Oryza sativa* L.) during germination. *Journal of Plant Growth Regulation*. <https://doi.org/10.1007/s00344-020-10156-7>
- [41]. Sivritepe, N., and Sivritepe, H.Ö. (2008). Organic priming with seaweed extract (*Ascophyllum nodosum*) affects viability of pepper seeds. *Asian Journal of Chemistry* 20(7): 5689-5694.
- [42]. Kavipriya, R.D., K, P., Jayashree, S., and Thangaraju, N. (2011). Seaweed extract as a biostimulant for legume crop, green gram. *J. Ecobiotechnol.* 3:16–19.
- [43]. Mittler, R. (2002). Oxidative stress, antioxidants and stress tolerance. *Trends in Plant Science* 7(9):405-410.
- [44]. Wang, W.B., Y.H. Kim, H.S. Lee, K.Y. Kim, X.P. Deng, and S.S. Kwak. (2009). Analysis of antioxidant enzyme activity during germination of alfalfa under salt and drought stresses. *Plant Physiology and Biochemistry* 4:570-577. doi:10.1016/j.plaphy.2009.02.009.