الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

المدرسة الوطنية العليا للفلاحة الحراش – الجزائر

Ecole Nationale Supérieure Agronomique – El Harrach – Alger

Département: Productions végétales — القسم: الإنتاج النباتي

Spécialité: Production et amélioration végétales — التخصص: إنتاج وتحسين النبات

Mémoire De Fin D'études

En vue de l'obtention du Diplôme d'Ingénieur agronome

THÈME

Évaluation de l'influence des inoculants de PGPR sur la résistance à la sécheresse, la croissance et le rendement de l'orge (*Hordeum vulgare* L.) en conditions de stress hydrique.

Présenté par : **RIHANE AMINA**

Soutenu publiquement le 17/12/2024

Devant le jury composé de :

Président :	**M. MEFTI Mohammed**	**Professeur (ENSA, Alger)**
Promoteur :	**M. KADRI Adel**	**M.C.A (ENSA, Alger)**
Examinateurs :	**M. RAHMOUNE Bilal**	**M.C.A (ENSA, Alger)**
	Mme ABIDI Lila	**M.C.A (ENSA, Alger)**

Promotion : 2019-2024

Sommaire

Liste des figures…… ..i
Liste des tableaux……ii
Liste des annexes……iii
Liste des abréviations……iiii
Introduction …… 1
Synthèse bibliographique……..... 4
Chapitre 1: L'orge (Hordeum vulgare L)…… 4
1.Origine et domestication de l'orge……... 4
2.Taxonomie et classification……. 5
3.Situation de la culture d'orge……... 6
3.1. Dans le monde……. 6
3.2. En Algérie....…….. 7
4. Utilisations de l'orge…….. 8
4.1.Alimentation humaine…….. 8
4.2.Alimentation animale…….. 9
4.3.Production de biocarburant…….. 9
5.Présentation de la morphologie de l'orge…… 9
5.1.Le grain…… 9
5.2. L'appareil végétatif……... 11
5.2.1.Système racinaire....…… 11
5.2.2.Système aérien…… 12
5.2.3.Appareil reproducteur……. 13
6.Cycle de développement de l'orge ……... 15
6.1. Période végétative…….. 15
6.2. Période reproductrice……. 16
7.Types d'orge……... 19
8.Exigences de l'orge ……... 20
8.1. Exigences thermiques…… 20
8.2. Exigences en photopériode…… 20
8.3. Exigences édaphiques…… 21
8.4. Exigences hydriques …… 21
8.5. Exigences culturales …… 21

9.Principaux dégâts affectant l'orge …… 22
Chapiter 2 : L'impact du stress hydrique sur la plante…….. ……... 25
1. Stress hydrique……. .25
2. Effet du stress hydrique sur la croissance, le développement et le rendement chez les céréales …… 25
3. Mécanisme d'adaptation des plantes au stress hydrique …….. 26
3.1. Adaptation phénologique ……...26
3.2. Adaptation morphologique …… ……... 26
3.2.1. Au niveau de la plante……..... 27
3.2.2. Au niveau structurel ……... 27
3.3. Adaptation physiologique et biochimique …… ……... 27
3.4. Adaptation génétique …… ……... 30
Chapitre 3: Les rhizobacteries promotrices de croissance des plantes (PGPR) ……... 31
1.Définition des PGPR …… 31
2.Biodiversité des PGPR ……...……... 32
2.1. Bacillus ……..... 32
2.2. Pseudomonas…… 33
2.3. Rhizobium (Rhizobias) …… 33
2.4. Azospirillum …… …… 34
3.Mécanismes d'action des PGPR ……... 35
3.1.1. Fourniture des nutriments par les PGPR …….. . 35
3.1.1.1. Fixation d'azote ……... 35
3.1.1.2. Solubilisation du phosphore ……... 36
3.1.1.3. Solubilisation du potassium ……..... 36
3.1.1.4. Solubilisation du zinc……... 37
3.1.1.5. Production de sidérophores …… 38
3.1.2. Production des phytohormones …….. 38
3.1.2.1. Auxine……..… 39
3.1.2.2. Cytokinines …… 39
3.1.2.3. Gibberellines ……... 40
3.1.2.4. Acide abscissique (ABA) ……... 41
3.1.2.5. L'éthylène ……...… 41
3.2. Mécanisme d'action indirect …… 42
3.2.1. Production des antibiotiques……42

3.2.2. Production des bactériocines ……...42
3.2.3. Production de cyanure d'hydrogène (HCN) ……43
3.2.4. Production de l'enzyme ACC désaminase ……..43
3.2.5. Résistance systémique induite (RSI) …… 43
1. PGPR comme biostimulant…… 44
2. Consortium bactérien …… 45
3. Procédures de sélection des PGPR…….. 46
4. Effets bénéfiques des PGPR sur les cultures agricoles……..... 46
5. Impact des PGPR sur la tolérance des plantes à la sécheresse…… 47
6. Enjeux de l'utilisation des PGPR…… 47
Matériels et methods……52
1.Objectif de travail …….. 52
2.Site expérimental ……... 52
2.1. Localisation de l'essai …… 52
2.2. Conditions environnementales de l'essai…… 53
3.Matériel végétal …… 54
4.Matériel bactérien……...55
5.Dispositif expérimental …… 57
6.Conduite de l'essai ……58
6.1. Préparation et désinfection du substrat ……..58
6.2. Test de germination ……59
6.3. Préparation des inoculums……..60
6.3.1. Préparation des milieux de culture ……..60
6.3.2. Multiplication des souches bactériennes…… ……61
6.3.3. Préparation de la suspension bactérienne ……61
6.3.4. Préparation des consortiums bactériens ……..62
6.4. Inoculation des graines …… 63
6.5. Semis des graines …… 63
6.6. Inoculation du sol…… 64
6.7. Entretien et suivi ……64
6.8. Conduite de l'irrigation……66
6.8.1. Détermination des besoins en eau des plants……66
6.8.2. Application du stress hydrique ……67
6.9. Récolte ……...68

7. Évaluation initiale des propriétés physico-chimiques du substrat……69
7.1. Analyse granulométrique……69
7.2. Évaluation du pH du sol……..70
7.3. Dosage de l'azote total du sol……..70
7.4. Dosage du carbone……..71
7.5. Analyse du calcaire total……72
7.6. Conductivité électrique (CE)……..73
7.7. Analyse du phosphore assimilable (P_2O_5)……...73
7.8. Potassium assimilable (K^+)……74
8. Paramètres étudiés…… 74
8.1. Paramètres biochimiques et physiologique……74
8.1.1. Teneur relative en eau ……75
8.1.2. Stabilite membranaire cellulaire……..76
8.1.3. Dosage de la proline……76
8.1.4. Dosage des sucres solubles……..77
8.1.5. Dosage des pigments chlorophylliens……..78
8.2. Paramètres édaphiques……79
8.2.1. Teneur en azote totale du sol……79
8.2.2. Teneur en phosphore assimilable (P2O5) …… 80
8.2.3. Teneur en potassium assimilable (k) du sol…… 81
8.3. Paramètres morphologiques…… 81
8.3.1. Surface folaire…… .81
8.3.2. Longueur de la tige……...82
8.3.3. Hauteur de la plante……82
8.3.4. Longueur du col de L'épi……..83
8.3.5. Longueur du col de L'épi……..83
8.3.6. Longueur des barbes…… 84
8.3.7. Longueur racinaire……...84
8.3.8. Biomasse aérienne…….. 85
8.3.9. Biomasse des épis……86
8.3.10. Poids frais racinaire……....86
8.3.11. Poids sec racinaire……..87
8.4. Paramètres agronomiques……...87
8.4.1. Nombre d'épis par plant……...87

8.4.2. Nombre de grains par épis……87
8.4.3. Rendement en grain réel……...87
8.4.4. Poids de milles grains……...88
8.4.5. Indice de recolte……...88
3. Analyses statistiques…… 88
Résultats et discussion……91
Chapitre 1 : Résultats et interpretations……91
1. Analyses physico-chimiques du substrat……91
2. Paramètres biochimiques et physiologiques……..94
3. Paramètres édaphiques……101
4.Paramètres morphologiques…… 105
5.Paramètres agronomiques…… 117
6.Résultats de l'analyse en composantes principales (ACP) ……...123
7.Matrice de corrélation ……..127
8.Résultats de l'Analyse hiérarchique ascendante (AHC)……134
Chapitre 2: Discussion ……139
1. Effet des PGPR sur les paramètres biochimiques et physiologiques ……139
2. Effet des PGPR sur les paramètres édaphiques ……143
3. Effet des PGPR sur les paramètres morphologiques ……..146
4. Effet des PGPR sur les paramètres agronomiques ……...152
Conclusion……..156
Références bibliographiques……....160
Annexe ……196

Résumé

L'orge est la quatrième céréale la plus cultivée au monde. Cependant, elle est confrontée à des défis importants en raison du stress hydrique engendré par la sécheresse. La présente étude a pour objectif d'évaluer les performances de quatre souches bactériennes (H1, H3, H9 et H13), sélectionnées pour leur potentiel PGP et intégrées dans 11 consortiums bactériens (T1 à T11), afin d'analyser leur tolérance au stress hydrique ainsi que leur efficacité en tant que biostimulants. Une expérience a été réalisée sous serre sur une culture d'orge selon un dispositif en blocs aléatoires complets à deux facteurs : le régime hydrique et les combinaisons bactériennes. Le stress hydrique appliqué a entraîné une diminution significative de la plupart des paramètres physiologiques, biochimiques, morphologiques, édaphiques et agronomiques mesurés. Des différences significatives ont été trouvées entre les combinaisons bactériennes pour plusieurs paramètres, notamment le potassium assimilable du sol, la longueur des racines, la longueur du col de l'épi, la longueur de l'épi, la longueur des barbes, le nombre d'épis par plant, le nombre de grains par épi et l'indice de récolte. Des interactions significatives entre le stress hydrique et les consortiums bactériens ont également été observées pour plusieurs paramètres. Les résultats obtenus démontrent que l'application de consortiums bactériens (PGPR) peuvent avoir un effet positif marqué sur l'amélioration de la tolérance des plantes au stress hydrique. Cela souligne le potentiel de ces consortiums bactériens en tant que biostimulants efficaces, capables de renforcer la tolérance de l'orge à la sécheresse.

Mots-clés : PGPR, Stress hydrique, Orge, Consortiums bactériens, Biostimulant, Tolérance.

Abstract

Barley is the fourth most widely grown cereal in the world. However, it faces major challenges due to water stress caused by drought. The aim of this study was to evaluate the performance of four bacterial strains (H1, H3, H9 and H13), selected for their PGP potential and integrated into 11 bacterial consortia (T1 to T11), in order to analyse their tolerance to water stress, as well as their effect as biostimulants. A greenhouse experiment was carried out on a barley crop using a complete randomized blocks design with two factors : water regime and bacterial combinations. The water stress applied had caused a significant reduction in most of the physiological, biochemical, morphological, edaphic and agronomic parameters measured. Significant differences were found between the bacterial combinations for several parameters, including assimilable soil potassium, root length, ear neck length, ear length, barb

length, number of ears per plant, number of grains per ear and harvest index. Significant interactions between water stress and bacterial consortia were observed for several parameters. The results obtained show that the application of bacterial consortia (PGPR) can have a marked positive effect on improving plant tolerance to water stress. This underlines the potential of these bacterial consortia as effective biostimulants capable of enhancing barley's tolerance to drought.

Key words : PGPR, Drought stress, Barley, Bacterial consortia, Biostimulant, Tolerance.

ملخص

يُعد الشعير رابع أكثر المحاصيل الحبوب زراعة في العالم، لكنه يواجه تحديات كبيرة نتيجة للإجهاد المائي الناجم عن الجفاف. تهدف هذه الدراسة إلى تقييم أداء أربع سلالات بكتيرية تم اختيارها بناءً على إمكانياتها في مساعدة نموالنباتات، وتم دمجها في 11 اتحادًا بكتيريًا لتحليل قدرتها على التكيف مع الإجهاد المائي، بالإضافة إلى تأثيرها كمنشطات حيوية. تم إجراء تجربة في دفيئة على محصول الشعير وفق تصميم كتل عشوائية كاملة مع عاملين: النظام المائي والتركيبات البكتيرية. أدى الإجهاد المائي إلى انخفاض كبير في معظم المعايير الفسيولوجية، البيوكيميائية، المورفولوجية، التربوية، والزراعية المقاسة. كما تم العثور على اختلافات كبيرة بين التركيبات البكتيرية في العديد من المعايير، مثل البوتاسيوم القابل للامتصاص في التربة، وطول الجذور، وطول عنق السنبلة، وطول السنبلة، وطول الشعيرات، وعدد السنابل لكل نبتة، وعدد الحبوب في السنبلة، ومؤشر الحصاد. كما لوحظت تفاعلات ذات دلالة بين الإجهاد المائي والتركيبات البكتيرية في عدة معايير. تُظهر النتائج أن تطبيق التركيبات البكتيرية يمكن أن يكون له تأثير إيجابي ملحوظ في تحسين مرونة النباتات في مواجهة الإجهاد المائي. وهذا يُبرز إمكانيات هذه التركيبات البكتيرية كمنشطات حيوية فعّالة لتعزيز قدرة الشعير على تحمل الجفاف

الكلمات المفتاحية: البكتيريا المحفزة للنمو النباتي، الإجهاد المائي، الشعير، الاتحادات البكتيرية، المحفزات الحيوية، التحمل