الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

جامعة الشهيد حمه لخضر الوادي

كلية العلوم الطبيعية والحياة

قسم العلوم الفلاحية

مذكرة مقدمة لاستكمال متطلبات نيل شهادة ماستر أكاديمي

في ميدان العلوم الطبيعية والحياة

الشعبة: العلوم الفلاحية

تخصص: إنتاج نباتي

بعنوان:

دراسة مقارنة نظرية بين عدة انواع من السيلاج من حيث الخصائص الكيميائية والقيمة الغذائية ودورهما في تغذية المجترات

إعداد الطالبة:

- شويرف هبة الله

تحت إشراف الأستاذ :

د. علالي أحمد

السنة الجامعية 2025/2024

بسم الله الرحمن الرحيم

اهداء

من قال انا لها "نالها"

وانا لها إن ابت رغما عنها أتيت بها

لم تكن الرحلة قصيرة ولا ينبغي لها إن تكون لم يكن الحلم قريب ولا طريق كان محفوفا بالتسهيلات لكنني فعلتها ونلتها

الي الذي زين أسمي بأجمل الالقاب من دعمني بلا حدود وأعطاني بلا مقابل الي فخري واعتزازي والدي(عبدالرزاق شويرف)

الي من جعل الله الجنة تحت اقدامها واحتضنني قلبها قبل يدها وسهلت لي الشدائد بدعائها سر قوتي ونجاحي ومصباح دربي الي وهج حياتي (حياة عيشوش)

الي ضلعي الثابت الي ملهمي نجاحي الي من شددت عضدي بهم فكانو لي ينابيع ارتوي منها الي خيرة ايامي وصفوتها (اخواني واخواتي)

وأخيرا الشكر موصل لنفسي على الصبر والتي كانت أهلا للمصاعب ها أنا أختم كل ما مررت به

الحمد الله من قبل ومن بعد راجية من الله تعالى أن ينفعني بما علمني وان يعلمني ما اجهل ويجعله حجة لي لا علي

شكر وعرفان

الشكر أولا الي الله عز وجل القائل في محكم كتابه العزيز

(لئن شكرتم لأزيدنكم)

لحمد الله الذي وهبنا نعمة العقل لينير لنا الطريق ووفقنا بمشيئته وقدرته الي إتمام هذا العمل والمارة بهذه الصورة ويدعونا واجب الوفاء والعرفان أن نتقدم بخالص الشكر والتقدير الي كل من مد لنا يد العون و المساعدة وساهم معنا ولو بكلمة أو إشارة أو رأي ونخص بالذكر(أستاذ الفاضل علالي أحمد) وذلك على حسن أشرافه على هذا البحث وتقديمه العون وكما نتقدم بالشكر والعرفان الي اعضاء هيئة التدريس لجامعة الشهيد حمه لخضر قسم الفاتحة وعلى رأسهم

(الدكتور محده إسماعيل)

كما نتقدم بشكر الي جميع العاملين و الموظفين في المخابر لمساعدتهم لنا في إتمام هذا البحث

الملخص

تتناول هذه الدراسة مقارنة شاملة بين أربعة أنواع من السيلاج هي التريتيكال (Triticale) والذرة العلفية (Zea mays) والسورغو (Sorghum bicolor) والدخن(Pennisetum glaucum) ، من حيث الخصائص الزراعية والفيزيائية–الكيميائية والتغذوية، وذلك في إطار السعي إلى تحسين الأمن العلفي في البيئات الجافة وشبه الجافة لولاية الوادي.

تم الاعتماد على نتائج نظرية تطبيقية مستندة إلى المراجع الحديثة (2020–2024) لتحليل أداء هذه المحاصيل في ظروف مناخية محدودة الموارد المائية.

شملت الدراسة تقييم مؤشرات الإنسيلاج مثل المادة الجافة(DM) ، درجة الحموضة(pH) ، البروتين الخام(CP) ، الألياف(NDF/ADF) ، السكريات الذائبة (°Brix) والرماد الكلي، إلى جانب تحليل تفسيري للعوامل المؤثرة على التخمير وجودة الحفظ.

أظهرت النتائج النظرية أن الذرة العلفية تتفوّق في سرعة التخمير وانخفاض pH بفضل محتواها العالي من السكريات، بينما يتميّز التريتيكال بمحتواه البروتيني المرتفع وقدرته على التأقلم ًا.

أما السورغو فيُعتبر أنسب خيار صيفي في المناطق الجافة، إذ يجمع بين إنتاجية عالية وكفاءة مائية ممتازة، في حين يقدّم الدخن توازنًا جيدًا بين البروتين والألياف مع ثبات نوعي في التخزين.

تؤكد المقارنة أن التكامل بين هذه المحاصيل عبر الزراعة التناوبية أو المزج في السيلاج يُعدّ خيارًا إستراتيجيًا لتقليل المخاطر المناخية وتحقيق استدامة إنتاج الأعلاف في الجنوب الجزائري.

وتوصي الدراسة بتبنّي برامج بحث ميدانية لاحقة لتقييم الأداء الفعلي لهذه المحاصيل تحت ظروف بيئية مختلفة، مع التركيز على تحسين تقنيات الإنسيلاج والتلقيح البكتيري وإدارة المياه في ظل التغيرات المناخية.

الكلمات المفتاحية: تريتيكال، ذرة علفية، سورغو، دخن، سيلاج، المواد الجافة، التخمير، الأمن العلفي، البيئات الجافة.

Abstract

This dissertation presents a comprehensive comparative study of four silage crops — Triticale (Triticale), Forage Maize (Zea mays), Sorghum (Sorghum bicolor), and Millet (Pennisetum glaucum) — focusing on their agronomic, physico-chemical, and nutritional characteristics under arid and semi-arid conditions typical of El Oued region in southern Algeria.

The work is based on applied theoretical data (2020–2024) assessing key silage quality indicators: dry matter (DM), pH, crude protein (CP), neutral and acid detergent fiber (NDF/ADF), soluble sugars (°Brix), and ash content.

Comparative analysis highlights the fermentation dynamics, preservation quality, and environmental adaptability of each species.

Results indicate that maize silage ensures the fastest fermentation and lowest pH due to its high soluble sugar content, whereas triticale silage shows higher protein values and better adaptation to cool winter conditions.

Sorghum silage emerges as the best alternative in dry climates thanks to its water-use efficiency and stable yield, while millet silage offers a balanced protein–fiber profile with excellent storage stability.

The study concludes that combining these crops in rotational or mixed silage systems provides a resilient and sustainable strategy for feed security in Algeria's drylands.

Future research should focus on field-based validation, optimization of microbial inoculation, and improved water management under climate change challenges.

Keywords: Triticale, Forage Maize, Sorghum, Millet, Silage, Dry Matter, Fermentation, Feed Security, Arid Regions.

Résumé

Ce mémoire présente une étude comparative approfondie portant sur quatre cultures ensilées : le triticale (Triticale), le maïs fourrager (Zea mays), le sorgho (Sorghum bicolor) et le mil (Pennisetum glaucum).

L'objectif principal est d'évaluer leurs caractéristiques agronomiques, physico-chimiques et nutritionnelles dans les conditions arides et semi-arides typiques de la région d'El Oued (Sud algérien).

L'étude repose sur des résultats théoriques appliqués issus de la littérature récente (2020–2024), couvrant des paramètres clés de la qualité de l'ensilage : matière sèche (MS), pH, protéines brutes (PB), fibres NDF/ADF, sucres solubles (° Brix) et cendres totales.

L'analyse comparative met en évidence les différences de cinétique de fermentation, de stabilité de conservation et d'adaptation agroclimatique entre les quatre espèces.

Les résultats indiquent que le maïs fourrager présente la fermentation la plus rapide et le pH le plus bas, tandis que le triticale se distingue par une teneur protéique supérieure et une bonne adaptation aux conditions hivernales.

Le sorgho se révèle être la meilleure option dans les zones sèches grâce à son efficacité hydrique remarquable, et le mil offre un compromis équilibré entre protéines et fibres, avec une excellente stabilité de stockage.

En conclusion, la combinaison de ces cultures dans des systèmes d'ensilage mixtes ou rotatifs constitue une approche durable pour renforcer la sécurité fourragère dans le Sud algérien.

Des recherches futures sont recommandées afin de valider ces résultats sur le terrain et d'améliorer les techniques d'ensilage, l'inoculation bactérienne et la gestion de l'eau face aux changements climatiques.

Mots-clés : Triticale, Maïs fourrager, Sorgho, Mil, Ensilage, Matière sèche, Fermentation, Sécurité fourragère, Zones arides.

فهرس المحتويات

فهرس المحتويات

إهداء	**2**
شكر وعرفان	**3**
ملخص	**4**
فهرس المحتويات	**7**
مقدمة عامة	**11**
الفصل الأول :الإطار العام والدراسات المرجعية	
1.1مقدمة عامة	**15**
1.2تعريف السيلاج ومبدأ تكوينه	**15**
1.3المراحل الأساسية لعملية السيلاج	**15**
1.4العوامل المؤثرة في جودة السيلاج	**16**
1.5أنواع السيلاج	**16**
1.6أهمية السيلاج في تغذية المجترات	**17**
1.7مؤشرات تقييم جودة السيلاج	**17**
1.8السيلاج والتنمية المستدامة	18
1.9خاتمة	**18**
الفصل الثاني :التريتيكال كمصدر للسيلاج	
2.1مقدمة	20
2.2الخصائص الزراعية للتريتيكال	20
2.3مراحل الحصاد المثلى لإنتاج السيلاج	20
2.4الخصائص الكيميائية لسيلاج التريتيكال	21
2.5القيمة الغذائية لسيلاج التريتيكال	22
2.6مزايا سيلاج التريتيكال مقارنةً بالذرة	22
2.7استخدامات سيلاج التريتيكال في تغذية الحيوان	23
2.8الاعتبارات التقنية لتحسين جودة سيلاج التريتيكال	23
2.9الخلاصة	24
الفصل الثالث :الذرة العلفية كمصدر للسيلاج	
3.1**مقدمة**	26

3.2الخصائص الزراعية للذرة العلفية	26
3.3مراحل النمو والحصاد المناسبة للسيلاج	26
3.4التركيب الكيميائي لسيلاج الذرة	27
3.5الخصائص التخميرية وجودة السيلاج	27
3.6القيمة الغذائية لسيلاج الذرة	28
3.7عوامل تحسين جودة سيلاج الذرة	28
3.8المزايا الاقتصادية والبيئية لسيلاج الذرة	29
3.9خلاصة	29
الفصل الرابع :سيلاج السوروغو وسيلاج الدخن	
المجور الأول : سيلاج السوروغو (Pennisetum glaucum)	
4.1مقدمة	31
4.2 الخصائص الزراعية للسورغو	31
4.3الخصائص الفيزيائية والكيميائية لسيلاج السورغو	**31**
4.4. الجوانب التغذوية والاستساغة	**32**
5.4 المزايا التكنولوجية والمناخية	**32**
6.4 الخلاصة الخاصة بمحور السورغو	**33**
المحور الثاني: سيلاج الدخن(Pennisetum glaucum)	**33**
1. المقدمة العامة	**33**
2. الخصائص الزراعية للدخن	**33**
3. الخصائص الفيزيائية والكيميائية لسيلاج الدخن	**34**
4. الجوانب التغذوية والاستساغة	**34**
5.المزايا التقنية والبيئية	**34**
6.الخلاصة الخاصة بمحور الدخن	**35**
الفصل الخامس :المقارنة النظرية بين سيلاج التريتيكال وسيلاج الذرة	
المحور الاول : مقارنة تركيبية بين محاصيل السيلاج الأربعة في البيئات الجافة وشبه الجافة	
المحور الثاني : البعد المناخي والاستدامة الكربونية في إنتاج السيلاج	
5.1مقدمة	**43**
5.2أثر التغيرات المناخية على إنتاج الأعلاف	43
5.3البصمة الكربونية في إنتاج السيلاج	**43**
5.4كفاءة استخدام الموارد تحت الضغط المناخي	**44**
5.5المرونة الزراعية والتكيف (**Agro-Resilience**)	**44**

5.6 السيلاج كأداة للتكيف المناخي	45
5.7 التوجه نحو نظم إنتاج منخفضة الكربون	45
5.8 التوصيات العلمية والعملية	45
5.9 الخلاصة	46
المحور الثالث : إدارة الموارد المائية والطاقة في نظم إنتاج السيلاج	47
6.1مقدمة	47
6.2 استهلاك المياه في محاصيل السيلاج	47
6.3إدارة الري وتقنيات الحفاظ على المياه	48
6.4مؤشرات الطاقة المتجددة في الزراعة العلفية	49
6.5العلاقة بين الماء والطاقة	50
6.6التقييم البيئي الكلي	50
6.7التوصيات العملية لتحسين الكفاءة المائية والطاقوية	51
6.8الخلاصة	51
المحور الرابع : الجدوى الاقتصادية والاجتماعية لإنتاج السيلاج في البيئات الجافة وشبه الجافة	51
7.1مقدمة	52
7.2التحليل الاقتصادي لإنتاج السيلاج	52
7.3الأثر الاجتماعي لتبني إنتاج السيلاج	53
7.4تحليل المخاطر الاقتصادية	54
7.5الجدوى الماكرو–اقتصادية	54
7.6التحليل الاجتماعي–البيئي	55
7.7التوصيات والسياسات المقترحة	55
7.8الخلاصة	55
الفصل السادس : الاستنتاجات والتوصيات	**57**
الخاتمة العامة	57
التوصيات العامة	59
الخلاصة النهائية	61
قائمة المراجع	62

فهرس الجداول

عنوان الجدول	الصفحة
الجدول 1 : الخصائص الكيميائية لسيلاج التريتيكال	21
الجدول 2 : المقارنات الحديثة بين سيلاج التريتيكال وسيلاج الذرة	22
الجدول 3 : التركيب الكيميائي لسيلاج الذرة	27
الجدول 4 : الملاءمة الزراعية والبيئية (نطاقات إرشادية)	37
الجدول 5 : مؤشرات الحصاد والتخمير (أهداف تشغيلية)	38
الجدول 6 : التركيب الغذائي والقيمة الطاقوية (على أساس المادة الجافة)	38
الجدول 7 : جودة المنتج والمخاطر النوعية	39
الجدول 8 : مؤشرات أدائية متوقعة في علائق المجترات (دليل تقريبي)	39
الجدول 9 : مصفوفة المخاطر المختصرة	41
الجدول 10 : كفاءة استخدام الموارد تحت الضغط المناخي	44
الجدول 11 : استهلاك المياه في محاصيل السيلاج	47
الجدول 12 : البعد الطاقوي في إنتاج السيلاج	49
الجدول 13 : التقييم البيئي الكلي	50
الجدول 14 : التحليل الاقتصادي لإنتاج السيلاج	52
الجدول 15 : المؤشرات الاقتصادية للسيلاج	53

المقدمة العامة

المقدمة العامة

يُعدّ قطاع الإنتاج الحيواني من الركائز الأساسية لتحقيق الأمن الغذائي الوطني، إذ يعتمد بدرجة كبيرة على توافر الأعلاف الخضراء ذات الجودة العالية على مدار السنة. غير أنّ الظروف المناخية القاسية التي تميّز المناطق الجافة وشبه الجافة في الجزائر، كمنطقة الوادي، تمثل تحديًا رئيسيًا أمام استدامة الإنتاج العلفي نتيجة محدودية الموارد المائية، وتدهور التربة، وتذبذب التساقطات المطرية.

وفي هذا السياق، أصبح البحث عن محاصيل علفية مقاومة للجفاف وذات كفاءة إنتاجية مرتفعة ضرورة استراتيجية لتقليص الفجوة العلفية وتحسين أداء القطعان.

تُعدّ تقنية السيلاج (l'ensilage) من أهم الحلول التقنية لتأمين الأعلاف في الفترات الحرجة، إذ تسمح بالحفاظ على الكتلة الخضراء للمحاصيل من خلال عملية تخمير لاهوائي تضمن الاحتفاظ بالقيمة الغذائية والفيتامينات لفترات طويلة. وتتميز هذه التقنية بسهولة التطبيق في المزارع، مع انخفاض تكلفتها مقارنة بالتجفيف، مما يجعلها خيارًا مثاليًا في المناطق ذات المناخ الحار والجاف حيث يصعب تجفيف الكتلة النباتية.

تاريخيًا، ظلّت الذرة العلفية (Zea mays) تمثّل المحصول المرجعي في صناعة السيلاج لما تمتاز به من محتوى سكّري عالٍ وسرعة في التخمير واستساغة ممتازة لدى المجترات. إلا أنّ زراعتها تتطلب كميات كبيرة من المياه والأسمدة، وهو ما يقلّل من جدواها في البيئات الهامشية.

ومن هنا برز الاهتمام بمحاصيل حبوب أخرى أكثر تحمّلًا للجفاف مثل التريتيكال(Triticale) ، وهو هجين بين القمح والشيلم يجمع بين إنتاجية الحبوب والكتلة الخضراء مع تكيّف بيئي واسع.

كما أثبت السورغو (Sorghum bicolor) قدرته العالية على مقاومة الإجهاد المائي والحراري، وإنتاج كتلة خضراء معتبرة حتى في الأراضي الرملية الفقيرة.

أما الدخن(Pennisetum glaucum) ، فيُعدّ من أقدم المحاصيل المزروعة في إفريقيا، ويمتاز بإنتاجية جيدة في الظروف القاحلة مع احتياجات مائية منخفضة جدًا، مما يجعله بديلاً استراتيجيًا في مناطق الجنوب الجزائري.

يأتي هذا العمل في إطار تقييم الإمكانيات الزراعية والتغذوية لأربعة محاصيل سيلاج واعدة في البيئات الجافة، بهدف المقارنة بين خصائصها الفيزيائية–الكيميائية والتخمّرية، وتحديد المحصول أو التوليفة الأكثر ملاءمة للظروف المحلية.

وقد شملت الدراسة تحليل مؤشرات السيلاج الأساسية مثل المادة الجافة(DM) ، درجة الحموضة(pH) ، البروتين الخام(CP) ، الألياف(NDF/ADF) ، والسكريات القابلة للذوبان(°Brix) ، إلى جانب تقييم الاستساغة والقيمة الطاقوية لكل محصول.

إن أهمية هذه المقارنة لا تكمن فقط في الجانب العلمي، بل تمتد إلى البعد الاقتصادي والبيئي، إذ يمكن لنتائجها أن تساهم في توجيه الفلاحين والمربين نحو اختيارات مدروسة للمحاصيل العلفية وفقًا لمواردهم المائية والظروف المناخية المحلية. كما تسعى إلى تقديم أسس علمية لتطوير برامج وطنية للسيلاج المستدام في المناطق الصحراوية، بما يعزز الأمن العلفي والغذائي ويساهم في التنمية الفلاحية المستدامة.

تهدف هذه الدراسة النظرية إلى:

- استعراض المفاهيم الأساسية المتعلقة بعملية السيلاج ومبادئه.
- تحليل الخصائص الكيميائية والقيم الغذائية لكل من التريتيكال والذرة العلفية.
- المقارنة بين نوعي السيلاج استنادًا إلى نتائج الدراسات العلمية السابقة.
- تقييم الجوانب الاقتصادية والبيئية لاستعمال كل نوع في تغذية المجترات.

وبناءً على ما سبق، تنقسم هذه المذكرة إلى خمسة فصول رئيسية:

- **الفصل الأول :الإطار العام والدراسات المرجعية حول السيلاج**
- **الفصل الثاني :التريتيكال كمصدر للسيلاج**
- **الفصل الثالث :الذرة العلفية كمصدر للسيلاج**
- **الفصل الرابع : سيلاج السوروغو وسيلاج الدخن**
- **الفصل الخامس المقارنة النظرية بين سيلاج التريتيكال وسيلاج الذرة**
- **الفصل السادس :الاستنتاجات والتوصيات.**

الفصل الأول:

الإطار العام والدراسات المرجعية

1.1مقدمة عامة

تمثل الأعلاف الخضراء المصدر الأساسي لتغذية الحيوانات المجترة، نظرًا لغناها بالعناصر الغذائية الضرورية كالكربوهيدرات والبروتينات والفيتامينات والمعادن. إلا أنّ طبيعتها الموسمية وتعرضها السريع للتلف تفرض البحث عن وسائل فعالة لحفظها على مدار السنة. من بين هذه الوسائل، يُعدّ **السيلاج** (Silage)من أكثر الطرق انتشارًا وفعالية لحفظ الأعلاف الخضراء دون فقد كبير في قيمتها الغذائية. تُعَدّ تقنية السيلاج من الممارسات القديمة التي تطورت عبر الزمن لتصبح أحد الأعمدة الأساسية في أنظمة التغذية الحديثة، إذ تساهم في استقرار الإنتاج الحيواني وتقليل الاعتماد على الأعلاف المستوردة.[7]

1.2تعريف السيلاج ومبدأ تكوينه

السيلاج هو مادة علفية ناتجة عن **تخمير الأعلاف الخضراء أو النباتات العلفية في ظروف لاهوائية،** حيث تقوم بكتيريا حمض اللاكتيك بتحويل السكريات الذائبة إلى أحماض عضوية، خاصة **حمض اللاكتيك،** الذي يعمل على خفض درجة الحموضة (pH) مما يوقف نمو الكائنات الحية الضارة ويحافظ على المادة العلفية لفترة طويلة..[41]

يُحفظ السيلاج في أوعية أو صوامع محكمة الغلق تُعرف باسم **السيلو**(Silo) ، ويمكن أن تكون أرضية، أو برجية، أو بلاستيكية.

يُعتبر الهدف الرئيسي من عملية التخمير هو **تثبيت العلف** في حالة مستقرة ومغذية، عن طريق خفض الأس الهيدروجيني إلى أقل من 4.2 في معظم الحالات، مما يمنع نشاط البكتيريا المتحللة والعفن.[32]

1.3المراحل الأساسية لعملية السيلاج

تمر عملية إنتاج السيلاج بعدة مراحل متتالية، أهمها:[46]

1. **مرحلة التنفس الهوائي** :(Aerobic Phase) تبدأ مباشرة بعد تخزين المادة الخضراء في الصومعة، وتستمر حتى استهلاك الأكسجين المتبقي.

2. **مرحلة التخمير اللاهوائي** :(Fermentation Phase) تتحول السكريات إلى أحماض عضوية، خصوصًا حمض اللاكتيك، مما يؤدي إلى انخفاض الـpH.

3. **مرحلة الثبات** :(Stable Phase) تستقر خلالها المادة العلفية وتبقى صالحة لفترات طويلة إذا حُفظت دون دخول الهواء.

4. **مرحلة الفتح والاستهلاك** :(Feed-Out Phase) عند فتح الصومعة، يتفاعل العلف مجددًا مع الهواء، مما قد يؤدي إلى ارتفاع درجة الحرارة ونمو العفن إذا لم تُدار العملية جيدًا.

1.4 العوامل المؤثرة في جودة السيلاج

تُحدد جودة السيلاج بعدة عوامل مترابطة :[8] [19]

- **محتوى المادة الجافة** :(Dry Matter) المستوى المثالي يتراوح بين 30 و35٪، لتجنب فقد العصارة أو سوء التخمر.
- **محتوى السكريات القابلة للتخمر** :ضروري لتغذية بكتيريا حمض اللاكتيك، وغالبًا ما يكون أعلى في الذرة مقارنة بالتريتيكال.
- **الأس الهيدروجيني** :(pH) انخفاضه إلى ما دون 4.2 يضمن تثبيت السيلاج.
- **ضغط المادة داخل الصومعة** :طرد الهواء تمامًا لتفادي التلوث الفطري.
- **درجة التقطيع** :طول الجزيئات المثالي (1–3 سم) يساعد على الضغط الجيد والتخمير المتوازن.

1.5 أنواع السيلاج

تختلف أنواع السيلاج حسب نوع المادة النباتية المستعملة، ويمكن تصنيفها كما يلي:[37]

1. **سيلاج الذرة**:(Maize Silage)

يعد الأكثر شيوعًا واستخدامًا في العالم بفضل محتواه العالي من الطاقة وقابليته الجيدة للهضم. تُعتبر الذرة نباتًا مثاليًا للسيلاج نظرًا لغناها بالسكريات السهلة التخمر واحتوائها على كمية معتدلة من الألياف.

2. **سيلاج التريتيكال**:(Triticale Silage)

يمثل بديلًا مهمًا للذرة، خاصة في المناطق الجافة والباردة. يحتوي على نسبة بروتين أعلى، إلا أن طاقته أقل نسبيًا بسبب ارتفاع نسبة الألياف ونقص السكريات القابلة للتخمر.

3. **سيلاج الأعشاب**:(Grass Silage)

يعتمد على الأعشاب الطبيعية أو المزروعة (مثل الراي غراس أو البرسيم)، ويتميز بقيمته البروتينية العالية، لكنه يتطلب إدارة دقيقة لعملية التخمير.

4. **سيلاج البقوليات**:(Legume Silage)

كالفصة والبيقية، وغالبًا ما يُخلط مع محاصيل غنية بالكربوهيدرات لتحسين التخمير.

1.6**أهمية السيلاج في تغذية المجترات**

يمثل السيلاج عنصرًا رئيسيًا في علائق الحيوانات المجترة لما يوفره من **استقرار غذائي على مدار السنة**، ويتميز بعدة فوائد رئيسية:[36]

- **المحافظة على القيمة الغذائية** :السيلاج يحافظ على معظم المركبات العضوية كالبروتين والطاقة بفضل الحفظ اللاهوائي.
- **تحسين القبولية والهضم** :عملية التخمير تُحسن الطعم والرائحة، مما يزيد من استهلاك الحيوان للمادة الجافة.
- **تثبيت الإنتاج الحيواني** :يوفر السيلاج علفًا ثابت الجودة حتى في فترات الجفاف أو الشتاء.
- **الاستفادة من الفائض الزراعي** :يمكن تحويل فائض الأعلاف الخضراء إلى سيلاج بدل تركها للتلف.
- **الجدوى الاقتصادية** :يقلل من تكاليف شراء الأعلاف المركزة والمستوردة.

وقد بيّنت دراسات حديثة أن الاعتماد على السيلاج ضمن الحصص الغذائية يُحسن من كفاءة التحويل الغذائي ويُقلل من الانبعاثات الكربونية الناتجة عن أنظمة الإنتاج الحيواني.[38]

1.7**مؤشرات تقييم جودة السيلاج**

يمكن تقييم جودة السيلاج من خلال عدة مؤشرات فيزيائية وكيميائية :[33] .[25]

- **الرائحة واللون** :السيلاج الجيد يتميز برائحة حمضية لطيفة ولون أصفر مائل للأخضر.
- **الأس الهيدروجيني** :بين 3.8 و4.2 يدل على تخمر جيد.
- **نسبة المادة الجافة** :من 30 إلى 35٪ للسيلاج الجيد.
- **محتوى البروتين الخام** :(CP) يختلف حسب المحصول المستخدم (بين 7–12٪ في الذرة، و10–15٪ في التريتيكال).

- **نسبة الألياف الخام** :(NDF/ADF) تدل على قابلية الهضم؛ كلما ارتفعت الألياف انخفضت الهضمية.

1.8 السيلاج والتنمية المستدامة

من منظور بيئي واقتصادي، يُعدّ السيلاج وسيلة فعالة لتحقيق **استدامة الأنظمة الفلاحية**، خصوصًا في المناطق الجافة وشبه الجافة. فاستعمال محاصيل بديلة مثل **التريتيكال** في إنتاج السيلاج يُساهم في **تنويع الموارد العلفية**، وتقليل الضغط على الموارد المائية، وتحسين كفاءة استخدام الأراضي.[9] كما يساعد السيلاج في **تقليل الفاقد الغذائي** وانبعاثات غاز الميثان الناتجة عن تحلل الأعلاف في الحقول المفتوحة، مما يجعله أداة داعمة للزراعة المستدامة.[43]

1.9 خاتمة

يُعتبر السيلاج تقنية أساسية في إدارة الأعلاف الحديثة لما يوفره من حلول عملية لتقلبات الإنتاج العلفي وضمان استمرارية تغذية الحيوانات. تختلف خصائص وجودة السيلاج باختلاف نوع المادة النباتية المستعملة، وظروف التخزين، ومدى التحكم في عملية التخمير.

من هذا المنطلق، تبرز أهمية دراسة خصائص **سيلاج التريتيكال** ومقارنته بـ **سيلاج الذرة العلفية** من حيث القيمة الغذائية والخصائص التخزينية لتحديد مدى ملاءمته كبديل مستدام في أنظمة التغذية الحيوانية.

الفصل الثاني:

التريتيكال كمصدر للسيلاج

2.1 مقدمة

يُعتبر **التريتيكال** (Triticale) من المحاصيل العلفية الحديثة نسبيًا، إذ يُعدّ نتاجًا لتهجين نوعين من الحبوب هما **القمح** (Triticum spp.) و**الجاودار**(Secale cereale) ، بهدف الجمع بين الإنتاجية العالية للقمح والقدرة على التحمّل البيئي للجاودار.

يتميّز التريتيكال بمرونته الزراعية وإمكانية زراعته في مختلف الظروف المناخية، مما يجعله بديلًا محتملًا للذرة في إنتاج الأعلاف المحفوظة خصوصًا في المناطق الباردة أو الجافة.[30]

لقد شهدت العقود الأخيرة توسعًا في زراعة التريتيكال في أوروبا، أمريكا الشمالية وشمال إفريقيا، نظرًا لإنتاجيته المقبولة وقدرته على تحسين **الاستدامة العلفية**، خصوصًا عند استخدامه في صورة **سيلاج** (Triticale Silage)، حيث يمكن حصاده في مرحلة النضج اللبني أو العجيني لإنتاج علف ذي جودة عالية.[19]

2.2الخصائص الزراعية للتريتيكال

يتميز نبات التريتيكال بعدة خصائص تجعله مناسبًا لإنتاج السيلاج:[38]

- **القدرة على التكيف مع الظروف البيئية القاسية** :يتحمل الجفاف ونقص التغذية المعدنية أكثر من القمح والشعير.
- **نظام جذري قوي** :يسمح بالاستفادة من المياه والعناصر الغذائية المتبقية في التربة.
- **النمو السريع والإنتاج المرتفع للمادة الخضراء** :ما يجعله مناسبًا للأنظمة الزراعية المختلطة.
- **المرونة في مواعيد الزراعة** :يمكن زراعته في الخريف أو الشتاء باختلاف المناطق.

غالبًا ما يُزرع التريتيكال في مناطق الزراعة المطرية(Rain-fed systems) ، مما يقلل من الضغط على الموارد المائية مقارنةً بالذرة، وبالتالي يساهم في **التكيف مع التغيرات المناخية** وتحقيق الأمن العلفي[7]

2.3مراحل الحصاد المثلى لإنتاج السيلاج

تؤثر **مرحلة الحصاد** تأثيرًا كبيرًا على القيمة الغذائية للسيلاج.

تشير الدراسات إلى أن أفضل مرحلة لحصاد التريتيكال من أجل السيلاج تكون في **الطور العجيني المبكر** (Early Dough Stage)، حيث تتوازن النسبة بين المادة الجافة والقيمة الغذائية [25] [33] .

- في المراحل المبكرة (الطور اللبني)، يكون العلف غنيًا بالبروتين ولكن منخفض الطاقة.
- في المراحل المتأخرة، ترتفع الطاقة نتيجة تراكم النشويات، لكن تنخفض القابلية للهضم بسبب زيادة الألياف.
- الهدف هو الوصول إلى محتوى مادة جافة بين 30–35% للحصول على تخمر جيد.

كما تُظهر الأبحاث أن دمج التريتيكال مع محاصيل بقولية مثل **الفصة** (Alfalfa) أو **البيقية** (Vetch) يُحسّن من محتوى البروتين والتخمير النهائي.[9]

2.4 **الخصائص الكيميائية لسيلاج التريتيكال**

تختلف التركيبة الكيميائية لسيلاج التريتيكال باختلاف الصنف، ظروف النمو، ومرحلة الحصاد. إلا أن القيم المتوسطة التي أوردتها الدراسات الحديثة تشير إلى ما يلي [8] [36] [41]

الجدول 1 : الخصائص الكيميائية لسيلاج التريتيكال [58]

العنصر الغذائي	**القيمة النموذجية**(%)
المادة الجافة(DM)	30 – 35
البروتين الخام(CP)	10 – 15
الألياف المتعادلة(NDF)	45 – 55
الألياف الحمضية(ADF)	30 – 35
الدهون الخام	2 – 3
الرماد	6 – 8
الأس الهيدروجيني(pH)	3.9 – 4.3

تُظهر هذه القيم أنّ **سيلاج التريتيكال يحتوي على نسبة بروتين أعلى** من سيلاج الذرة، لكنّه أقل طاقوية نظرًا لارتفاع نسبة الألياف وانخفاض السكريات الذائبة التي تُعدّ ضرورية لعملية التخمير.

وقد أظهرت دراسة أجراها Soundharrajan et al. (2025) أن إضافة بكتيريا حمض اللاكتيك (LAB) خلال عملية التخمير حسّنت من خصائص السيلاج عبر رفع محتوى حمض اللاكتيك وخفض الأمونيا، مما أدى إلى تحسين الحفظ وجودة العلف النهائي.[41]

2.5القيمة الغذائية لسيلاج التريتيكال

يُعتبر سيلاج التريتيكال مصدرًا جيدًا للبروتين والطاقة المتوسطة، إذ يُمكن أن يغطي جزءًا معتبرًا من احتياجات الحيوانات المجترة خاصة في فترات نقص الأعلاف الخضراء.

تشير التجارب إلى أن قيم **الطاقة الممثلة** (ME) في سيلاج التريتيكال تتراوح بين 8**إلى 9 ميغا جول/كغ مادة جافة**، في حين أن الذرة قد تصل إلى 11 ميغا جول/كغ.[31]

من ناحية القابلية للهضم، تتراوح **الهضمية الإجمالية للمادة الجافة** (DMD) بين 60 و70%، وهي قيمة مقبولة في علائق الأبقار والأغنام.

أما بالنسبة إلى **الاستساغة**(Palatability) ، فتُعتبر جيدة عمومًا، خصوصًا إذا تم التحكم في درجة الجفاف والتخمير.[7]

2.6مزايا سيلاج التريتيكال مقارنةً بالذرة

تُظهر المقارنات الحديثة بين سيلاج التريتيكال وسيلاج الذرة عدة فروق ومزايا نسبية [19] [38]:

الجدول 2 : المقارنات الحديثة بين سيلاج التريتيكال وسيلاج الذرة [19]

ذرة علفية	تريتيكال	الجانب المقارن
عالية(10–11 MJ/kg DM)	متوسطة(8–9 MJ/kg DM)	الطاقة الممثلة
منخفض(7–9%)	مرتفع(10–15%)	البروتين الخام
منخفض	مرتفع	محتوى الألياف
عالية	متوسطة	قابلية الهضم
مرتفعة	منخفضة	متطلبات المياه
متوسطة	عالية	القدرة على النمو في ظروف قاسية
متوسطة	مرتفعة	الاستدامة البيئية

من الواضح أنّ **التريتيكال** لا يمكنه من حيث الطاقة أن يعوّض الذرة بشكل كامل، لكنه يُعدّ خيارًا ممتازًا في المناطق ذات الإنتاج المحدود أو التي تعاني من نقص في المياه، كما أنه يساهم في **تنويع المصادر العلفية** وتقليل التبعية للذرة المستوردة.

2.7استخدامات سيلاج التريتيكال في تغذية الحيوان

يُستخدم سيلاج التريتيكال أساسًا في تغذية الأبقار الحلوب، العجول في مرحلة النمو، والأغنام، سواء بمفرده أو ضمن خلطات مع أعلاف أخرى.

وقد أثبتت دراسة Giuliotti et al. (2022) أن استبدال 50% من سيلاج الذرة بسيلاج التريتيكال في علائق الأبقار الحلوب لم يؤثر سلبًا على إنتاج الحليب أو تركيبته، بل حسّن بعض المؤشرات البيئية المرتبطة ببصمة الكربون.[19]

كما أشارت Cosentino et al. (2023) إلى أن استعمال سيلاج التريتيكال في علائق العجول ساهم في تقليل استهلاك المياه دون تأثير كبير على الأداء الحيواني، مما يدعم جدواه من الناحية الاقتصادية والبيئية.[7]

2.8الاعتبارات التقنية لتحسين جودة سيلاج التريتيكال

لتعزيز جودة سيلاج التريتيكال، يُوصى بما يلي:[38]

- الحصاد في الطور العجيني المبكر.
- التقطيع بطول 2–3 سم لتحقيق ضغط جيد.
- إضافة محسنات تخمير (Inoculants) تعتمد على بكتيريا حمض اللاكتيك.
- تغطية الصومعة بإحكام لتفادي التسرب الهوائي.
- خلط التريتيكال بمحاصيل غنية بالسكريات (مثل الذرة أو الشعير الأخضر) لتحسين التخمير.

2.9 **الخلاصة**

يمثل **سيلاج التريتيكال** خيارًا استراتيجيًا في الأنظمة العلفية المستدامة، خاصة في المناطق محدودة الموارد.

رغم أنّ قيمته الطاقوية أدنى من سيلاج الذرة، إلا أنّ محتواه الأعلى من البروتين والألياف يجعله علفًا متوازنًا نسبيًا.

كما يساهم في تقليل الاعتماد على الأعلاف المستوردة ويعزز من مرونة الأنظمة الفلاحية في مواجهة التغيرات المناخية.

إنّ النتائج النظرية والبحوث الحديثة تؤكد أنّ سيلاج التريتيكال يمكن أن يكون **بديلًا جزئيًا فعّالًا** لسيلاج الذرة في تغذية المجترات، خاصة ضمن برامج التغذية المتكاملة.

الفصل الثالث:

الذرة العلفية كمصدر للسيلاج

1.3. **مقدمة**

تُعدّ **الذرة العلفية** (Zea mays L.) من أهم محاصيل الأعلاف المستخدمة في إنتاج السيلاج على مستوى العالم، نظرًا لغناها بالسكريات القابلة للتخمر ومحتواها العالي من الطاقة وسهولة حفظها. يُستخدم **سيلاج الذرة** (Maize Silage) بشكل واسع في تغذية الأبقار الحلوب والعجول، إذ يوفر مصدرًا ثابتًا للطاقة ويساعد على استقرار الأداء الإنتاجي طوال السنة.

بفضل قابليته الممتازة للتخمير واستساغته العالية من قبل الحيوانات، يُعتبر سيلاج الذرة معيارًا أساسيًا يُقارن به باقي أنواع السيلاج الأخرى مثل التريتيكال أو الشعير [46] [33]

3.2**الخصائص الزراعية للذرة العلفية**

تُزرع الذرة في مناطق مناخية متنوعة، من المعتدلة إلى المدارية، وتُعتبر من أكثر المحاصيل كفاءة في تحويل الطاقة الشمسية إلى مادة جافة، إذ يمكن أن تنتج 60–40**طنًا من المادة الخضراء للهكتار الواحد** في الظروف المثالية.[8]

من أهم الخصائص الزراعية للذرة العلفية [9] [11]:

- **نظام جذري متطور** يسمح بامتصاص كميات كبيرة من العناصر المعدنية والماء.
- **محتوى مرتفع من السكريات الذائبة** الضرورية لتخمير ناجح.
- **إنتاجية عالية من المادة الجافة والطاقة الأيضية**.
- **تعدد الأصناف والهجن** التي تسمح بتكييف الزراعة حسب الظروف المناخية والإنتاجية.

غير أن الذرة تحتاج إلى **كميات معتبرة من الماء** والأسمدة النيتروجينية، مما يجعل زراعتها مكلفة في المناطق شبه الجافة مقارنة بالتريتيكال.[31]

3.3**مراحل النمو والحصاد المناسبة للسيلاج**

يُعتبر **الطور العجيني اللبني** (Milk–Dough Stage) هو الأنسب لحصاد الذرة من أجل إنتاج سيلاج عالي الجودة، إذ تكون نسبة المادة الجافة حوالي 35%–32، وتصل الذرة في هذه المرحلة إلى أقصى تركيز للطاقة مع بقاء القابلية للهضم جيدة.[19]

- في المراحل المبكرة (قبل طور الحرير)، تكون القيمة البروتينية أعلى لكن الطاقة منخفضة.

- في المراحل المتأخرة (بعد النضج الكامل)، تزداد المادة الجافة لكن تتناقص القابلية للهضم بسبب تصلب الحبوب.

تُشير الدراسات الحديثة إلى أن التوقيت الدقيق للحصاد يُعدّ العامل الأكثر تأثيرًا في جودة سيلاج الذرة، إذ يؤثر على تركيز النشا وحمض اللاكتيك ونسبة الألياف.[7]

3.4 التركيب الكيميائي لسيلاج الذرة

يتأثر التركيب الكيميائي للسيلاج بعوامل متعددة كالصنف المزروع، ظروف المناخ، ومدة التخزين. تشير القيم النموذجية المستخلصة من دراسات حديثة إلى ما يلي [36] [45] :

الجدول 3 : التركيب الكيميائي لسيلاج الذرة [45]

العنصر الغذائي	القيمة النموذجية(%)
المادة الجافة(DM)	30 – 35
البروتين الخام(CP)	7 – 9
الألياف المتعادلة(NDF)	40 – 45
الألياف الحمضية(ADF)	25 – 30
الدهون الخام	2 – 3
الرماد	4 – 6
النشا	25 – 35
الأس الهيدروجيني(pH)	3.7 – 4.1

يتميز **سيلاج الذرة** بارتفاع محتواه من **السكريات والنشا**، مما يجعله غنيًا بالطاقة وقابلًا للتخمير بسهولة.

أظهرت نتائج Cueva et al. (2023) أن زيادة مدة التخزين حتى 120 يومًا تحسن من قابلية تحلل النشا داخل الكرش، ما يزيد من القيمة الطاقوية للسيلاج.[8]

3.5 الخصائص التخميرية وجودة السيلاج

تُعد الذرة من المحاصيل المثالية لعملية السيلاج نظرًا لغناها بالسكريات الذائبة التي تدعم نشاط بكتيريا حمض اللاكتيك.(LAB)

تؤدي هذه العملية إلى إنتاج مستويات مرتفعة من **حمض اللاكتيك** وانخفاض الـ pHبسرعة، مما يوقف نشاط البكتيريا الضارة والعفن.[45]

بحسب Niu et al. (2025)، فإن سيلاج الذرة يحتوي عادة على نسبة 60–70% من حمض اللاكتيك بين الأحماض العضوية الكلية، في حين يشكل حمض الأسيتيك حوالي 20–25%، وهو ما يضمن استقرارًا عاليًا خلال التخزين.[37]

كما تُظهر دراسات حديثة أن استخدام إضافات ميكروبية مثل Lactobacillus plantarumأو Pediococcus pentosaceusيساهم في تحسين الجودة التخزينية وتقليل الفاقد الغذائي بعد فتح الصومعة.[24]

3.6**القيمة الغذائية لسيلاج الذرة**

يعتبر سيلاج الذرة مصدرًا ممتازًا للطاقة (10–11 **ميغا جول**/ME **كغ مادة جافة**)، ويُستخدم عادة كعنصر رئيسي في علائق الأبقار الحلوب والعجول المخصصة للتسمين.

ورغم انخفاض محتواه من البروتين مقارنة بالتريتيكال، إلا أن تركيبته الغنية بالنشا تجعله **العلف الأساسي لتغطية الاحتياجات الطاقوية** في المجترات.[4]

تشير Yan et al. (2025)إلى أن استخدام سيلاج الذرة في علائق الأغنام حسّن من كفاءة النمو وجودة اللحم دون التأثير سلبًا على الميكروفلورا الكرشية.[45]

كما بينت Mosebi et al. (2025)أن الاختلافات بين أصناف الذرة يمكن أن تؤثر في القابلية للهضم بنسبة تصل إلى 10%، ما يبرز أهمية اختيار الأصناف المناسبة لإنتاج السيلاج عالي الجودة.[36]

3.7**عوامل تحسين جودة سيلاج الذرة**

للحصول على سيلاج ذرة عالي الجودة، يُوصى بما يلي [44] [23]

- الحصاد عند نسبة مادة جافة بين 32–35%.
- تقطيع العلف إلى جزيئات بطول 1.5–2 سم.
- ضغط المادة داخل الصومعة جيدًا لطرد الهواء.
- تغطية الصومعة بإحكام.
- إضافة محسنات تخمير (Inoculants) إذا كانت المادة ذات محتوى سكري منخفض.

- تجنب دخول الهواء عند الاستهلاك.(feed-out)

كما أن الحفاظ على درجة حرارة منخفضة أثناء التخزين يقلل من فقد المادة الجافة ويُحافظ على جودة التخمير.

3.8 **المزايا الاقتصادية والبيئية لسيلاج الذرة**

يُعتبر سيلاج الذرة من **أكثر الأعلاف كفاءةً من حيث إنتاج الطاقة لكل هكتار**، إذ يمكن أن يغطي جزءًا كبيرًا من احتياجات الحيوان بتكلفة منخفضة نسبيًا مقارنة بالأعلاف المركزة.

إلا أن زراعته تتطلب كميات كبيرة من المياه والأسمدة، مما قد يُشكل عبئًا بيئيًا في المناطق الجافة [29][47]

تُشير دراسات Oliveira et al. (2024) إلى أن استبدال جزء من المساحة المخصصة للذرة بمحاصيل أكثر تحملاً للجفاف، مثل التريتيكال، يمكن أن يقلل من **البصمة الكربونية الزراعية** بنسبة تصل إلى 20.% ورغم ذلك، يبقى **سيلاج الذرة** هو المعيار العالمي لتقييم باقي أنواع السيلاج نظرًا لتوازنه الغذائي وجودته التخزينية الممتازة.

3.9 **خلاصة**

يُعد **سيلاج الذرة العلفية** أحد أهم الركائز في تغذية المجترات الحديثة بفضل قيمته الطاقوية العالية وسهولة إنتاجه وجودته الممتازة عند التخزين.

تُبرز الدراسات أن نجاح إنتاج السيلاج من الذرة يعتمد بدرجة كبيرة على **مرحلة الحصاد** و**إدارة التخزين**.

ورغم تفوق الذرة في القيمة الطاقوية، إلا أن محدودية تحملها للظروف البيئية تجعل البحث عن بدائل مثل **التريتيكال** أمرًا ضروريًا لتحقيق **الاستدامة العلفية** وتخفيف الضغط على الموارد الطبيعية.

الفصل الرابع :

سيلاج السوروغو وسيلاج الدخن

المحور الاول: سيلاج السوروغو (Pennisetum glaucum)

4.1 المقدمة

يُعدّ السورغو (Sorghum bicolor L. Moench) من أهم محاصيل الحبوب العلفية الصيفية التي تنتمي إلى الفصيلة النجيلية .(Poaceae) ويتميّز بقدرته العالية على مقاومة الجفاف والحرارة مقارنةً بالذرة العلفية، مما يجعله من المحاصيل البديلة المناسبة في المناطق الجافة وشبه الجافة[12]

يُزرع السورغو على نطاق واسع في إفريقيا وآسيا وأجزاء من أمريكا اللاتينية، إذ يحتلّ مكانة استراتيجية في تحقيق الأمن العلفي بفضل إنتاجيته العالية للكتلة الخضراء مع احتياجات مائية منخفضة[39]

وتشير دراسات محلية في الجزائر إلى أن إدماج السورغو في الدورات الزراعية يمكن أن يسهم في التخفيف من ضغط الطلب على الذرة وتحسين كفاءة استعمال المياه في الأنظمة الفلاحية شبه الصحراوية [50

4.2 الخصائص الزراعية للسورغو

يتكيّف السورغو مع ظروف مناخية قاسية تشمل درجات حرارة مرتفعة تصل إلى (40°C) وانخفاض التساقطات المطرية إلى أقل من 300 مم سنويًا، وذلك بفضل نظامه الجذري العميق وقدرته على إغلاق الثغور الورقية لتقليل فقد الماء

كما أنّه يمتاز بكفاءة عالية في استخدام الموارد المائية مقارنة بالذرة، حيث يمكن أن ينتج محصولًا مقبولًا حتى في حالة الري المحدود أو الاعتماد الجزئي على الأمطار[49]

وتوصي الدراسات الزراعية بحصاده عند طور اللبني–العجيني لضمان مادة جافة تتراوح بين 30 و35% مناسبة للإنسيلاج

4.3 الخصائص الفيزيائية والكيميائية لسيلاج السورغو

يُظهر سيلاج السورغو خصائص فيزيائية مقاربة للذرة من حيث الكثافة واللون والرائحة، مع اختلاف بسيط في نسبة السكريات الذائبة التي تتراوح بين (10–14%) حسب الصنف والطور الفينولوجي[40]

تتراوح المادة الجافة (DM) بين (32–36%)، ودرجة الحموضة النهائية (pH) بين (3.8–4.2) عند التخزين الجيد، ما يشير إلى تخمر لبني فعّال[1]

ويبلغ متوسط البروتين الخام (CP) بين (7–9%)، بينما تتراوح نسبة الألياف المنظفة المتعادلة (NDF) بين (45–55%)، وهي قيم تضع السورغو في موقع وسط بين الذرة والتريتيكال من حيث الطاقة والبروتين[34]

وقد أظهرت التجارب أن إضافة مولاس بنسبة 2–3% يحسّن من سرعة انخفاض pH ويزيد من إنتاج حمض اللاكتيك، خاصة في الأصناف ذات المحتوى السكري المنخفض [53]

4 .4 الجوانب التغذوية والاستساغة

من الناحية التغذوية، يُعدّ سيلاج السورغو مصدرًا جيدًا للطاقة مع قيمة طاقوية تتراوح بين 9.5–10.5 MJ/kg DM، مما يجعله مناسبًا لتغذية الأبقار الحلوب والماعز[5]

إلا أن ارتفاع محتواه من العفص (Tannins) في بعض الأصناف قد يقلل من الهضمية إذا لم تُستخدم أصناف محسّنة أو معالجة مسبقة[12]

تُظهر المجترات عادة استساغة متوسطة إلى جيدة لسيلاج السورغو، خاصة عندما يتم حصاده في مرحلة النضج اللبني وإعداده بتقطيع ناعم وكبس محكم.[1]

كما أن الخلط بين سيلاج السورغو وسيلاج الذرة بنسبة (1:1) أثبت فعالية في رفع معدل استهلاك المادة الجافة وتحسين التوازن البروتيني في العلائق المركبة[50]

5.4 المزايا التكنولوجية والمناخية

تُظهر النتائج التطبيقية أن السورغو يتفوّق على الذرة في الكفاءة المائية والإنتاج في الظروف الهامشية، ما يجعله خيارًا اقتصاديًا ملائمًا لمناطق مثل ولاية الوادي وبسكرة والأغواط [54]

كما يتميز بإمكانية استخدام أجزائه الثانوية (الأوراق والسيقان) في التغذية أو إنتاج السماد العضوي، مما يدعم مفهوم الزراعة المستدامة منخفضة المدخلات[39]

من ناحية المعالجة، يتميز السيلاج الناتج عنه بثبات هوائي جيد عند الفتح مقارنة بالتريتيكال، مع قدرة أعلى على مقاومة العفن بسبب قلة الرطوبة السطحية

وبناءً على ذلك، يُعتبر السورغو محصولًا استراتيجيا في سياق التحولات المناخية والبحث عن بدائل للذرة في الأنظمة العلفية الجزائرية[12]

6.4 الخلاصة الخاصة بمحور السورغو

يُعدّ سيلاج السورغو خيارًا واعدًا من حيث الكفاءة في استخدام المياه والإنتاجية العلفية في المناطق الجافة.

رغم أن قيم البروتين والطاقة أقل نسبيًا من الذرة، إلا أنّ قدرته على تحمل الإجهاد المائي وتخزينه الجيد دون فاقد كبير تجعل منه بديلاً مستدامًا في الأنظمة الفلاحية المعتمدة على الموارد المحدودة.

وبذلك يُوصى بإدراجه ضمن برامج تحسين الأعلاف في الجنوب الجزائري، مع التركيز على الأصناف المحلية المقاومة للجفاف واستخدام التلقيح البكتيري والمضافات السكرية لتحسين جودة التخمر.

المحور الثاني: سيلاج الدخن(Pennisetum glaucum)

1. المقدمة العامة

يُعدّ الدخن اللؤلؤي (Pennisetum glaucum L.) من أقدم وأهم محاصيل الحبوب العلفية في المناطق الجافة وشبه الجافة، إذ يتميّز بقدرته الفائقة على تحمّل الحرارة والجفاف والملوحة، مما يجعله من أكثر المحاصيل ملاءمة للزراعة في المناطق الهامشية ذات الموارد المائية المحدودة[12]

يُزرع الدخن على نطاق واسع في إفريقيا والهند والساحل الصحراوي، وقد بدأت زراعته تزداد في الجزائر خاصة في ولايات الجنوب (الوادي، ورقلة، الأغواط) نظرًا لقدرته على النمو في تربة رملية خفيفة مع أقل كمية من المياه [52]

وتشير الدراسات الحديثة إلى أن إدماج الدخن في أنظمة الأعلاف يمكن أن يساهم في تحقيق الأمن العلفي وتحسين كفاءة الإنتاج الحيواني تحت الإجهاد المناخي[39]

2. الخصائص الزراعية للدخن

يُصنف الدخن كمحصول صيفي قصير الدورة (70–90 يومًا)، يتأقلم مع درجات حرارة مرتفعة تتراوح بين(30–45°C) ، ويمكنه إتمام دورة حياته حتى عند تساقطات تقل عن 250 مم سنويًا.(FAO, 2021)

يمتلك نظامًا جذريًا متفرعًا يساعده على امتصاص المياه من الطبقات العميقة للتربة، كما يتميز بقدرة عالية على التعافي بعد الجفاف[27]

من الناحية الزراعية، يُوصى بزراعة الدخن في ترب رملية جيدة الصرف، مع معدل بذار معتدل لتجنّب التنافس الشديد بين النباتات، كما يُنصح بحصاده عند طور بداية امتلاء الحبوب للحصول على توازن مثالي بين المادة الجافة والقيمة الغذائية [53]

3. الخصائص الفيزيائية والكيميائية لسيلاج الدخن

يُظهر سيلاج الدخن خصائص مقاربة لسيلاج التريتيكال من حيث المحتوى البروتيني والسكريات الذائبة، لكنه يتفوق عليه في ثبات المادة الجافة أثناء التخزين[40]

تتراوح المادة الجافة (DM) في سيلاج الدخن بين (30–34%)، بينما يبلغ البروتين الخام (CP) من (11–13%)، والألياف المنظفة المتعادلة (NDF) بين (50–55%)، وهي قيم تضمن هضمية متوسطة إلى جيدة للمجترات[35]

أما درجة الحموضة النهائية (pH) فتتراوح بين (4.2–4.6)، مما يعكس تخمرًا لبنيًا مقبولًا خاصة عند وجود محتوى سكري كافٍ في النبات

وقد أشارت تجارب تغذية حديثة إلى أن سيلاج الدخن يُظهر ثباتًا هوائيًا جيدًا عند الفتح، مع انخفاض في فقد المادة الجافة مقارنةً بالذرة عند نفس ظروف التخزين[12]

4. الجوانب التغذوية والاستساغة

يمتاز سيلاج الدخن بتركيب متوازن نسبيًا من الكربوهيدرات والألياف، مما يجعله ملائمًا لتغذية الأبقار الحلوب والأغنام في المناطق الجافة[5]

تتراوح القيمة الطاقوية بين(9.0–9.8 MJ/kg DM) ، وهو مستوى أدنى قليلًا من الذرة لكنه أعلى من التريتيكال.

من حيث الاستساغة، تشير الدراسات إلى أن الحيوانات تُقبل على سيلاج الدخن بنسبة قريبة من الذرة عند التقطيع الناعم والكبس الجيد[1]

وقد لوحظ أن خلط الدخن مع السورغو أو التريتيكال بنسبة (40–60%) يؤدي إلى تحسين القوام والطعم وزيادة الاستهلاك اليومي للمادة الجافة[39]

5.المزايا التقنية والبيئية

يمثل الدخن محصولًا اقتصاديًا صديقًا للبيئة بفضل قدرته على النمو في أراضٍ هامشية وبكلفة إنتاج منخفضة، كما يساهم في تحسين خصوبة التربة بفضل جذوره المتفرعة التي تزيد من التهوية والمادة العضوية[48]

إضافةً إلى ذلك، يمكن استخدام بقايا سيلاج الدخن في إنتاج السماد العضوي أو الأعلاف المركزة، مما يدعم مبادئ الزراعة المستدامة[13]

كما أنّ سيلاج الدخن أقلّ عرضة للعفن بسبب انخفاض الرطوبة السطحية، ويمتاز بثبات في التخزين يصل إلى أكثر من 12 شهرًا دون تدهور نوعي واضح

وتؤكد النتائج أن هذا المحصول يمكن أن يكون بديلًا استراتيجيًا للذرة والسورغو في ولايات الجنوب الشرقي للجزائر (الوادي، ورقلة، إليزي)، خاصة في ظل التغيرات المناخية وارتفاع تكاليف الإنتاج الزراعي [54]

6. الخلاصة الخاصة بمحور الدخن

يمكن اعتبار الدخن من المحاصيل العلفية الواعدة التي تستحق اهتمامًا أكبر في الجزائر، بفضل قدرته العالية على التأقلم والإنتاج في بيئات فقيرة الموارد.

رغم أن قيم الطاقة أقل من الذرة، إلا أن توازنه في المادة الجافة والبروتين والألياف يجعله خيارًا جيدًا في العلائق المتكاملة للمجترات.

ويُوصى مستقبلاً بتركيز الأبحاث على تحسين الأصناف المحلية للدخن من حيث المحتوى البروتيني والسكري، واعتماد تقنيات الإنسيلاج الحديثة كالتلقيح البكتيري والإضافات الطبيعية (المولاس، الإنزيمات) لتحسين جودة السيلاج النهائي.

كما يُنصح بإدماج الدخن في الأنظمة الزراعية المستدامة كبديل ذكي للذرة والسورغو في المناطق الجافة وشبه الجافة.

الفصل الخامس:

المقارنة النظرية بين سيلاج التريتيكال وسيلاج الذرة

المحور الاول : مقارنة تركيبية بين محاصيل السيلاج الأربعة في البيئات الجافة وشبه الجافة.«

تتضمن جداول معيارية، تحليلًا تفسيريًا متعدد الأبعاد (زراعي–تخمري–تغذوي–اقتصادي تشغيلي)، ومصفوفة مخاطر، ثم توصيات عملية وخلطات مقترحة.

المقارنة التركيبية بين محاصيل السيلاج الأربعة

الجدول 4 : الملاءمة الزراعية والبيئية (نطاقات إرشادية) [60] . [61]

الدخن	السورغو	الذرة العلفية	التريتيكال	المؤشر
صيفية قصيرة (70–90 يوم)	صيفية متوسطة	صيفية طويلة نسبيًا	/ربيع معتدلة	دورة النمو
مرتفع جدًا	مرتفع	ضعيف–متوسط	متوسط	تحمّل الجفاف
منخفض	متوسط	مرتفع	منخفض–متوسط	احتياج ماء نسبي
رملية/فقيرة جيّدًا	واسعة (حتى متوسطة الملوحة)	عميقة خصبة	طينية–كِلسية، يتحمّل pHمرتفع	ملاءمة التربة
30–40	40–55	45–60	35–45	إنتاج الكتلة الخضراء (طن/هـ)
بداية امتلاء الحبوب	لبني–عجيني	لبني متأخر–شمعي مبكر	طور لبني–عجيني	نوافذ الحصاد المثلى

دلالة :السورغو والدخن هما الأكثر ملاءمةً عندما يكون الماء محدودًا أو التربة فقيرة؛ الذرة تتفوّق في البيئات الخصبة والمروية؛ التريتيكال خيار ي مرن يعزز الأمن العلفي خارج الموسم الصيفي.

الجدول 5 : مؤشرات الحصاد والتخمير (أهداف تشغيلية) [62]

المؤشر	التريتيكال	الذرة	السورغو	الدخن
المادة الجافة عند الحصاد(%)	30–35	32–38	32–36	30–34
السكريات الذائبة(%) WSC	5–8	10–16	10–14	6–10
السعة التنظيمية/العازلة(meq/kg DM)	أعلى نسبيًا	منخفضة	متوسطة	متوسطة
طول التقطيع (سم)	1–2	1–2	1–3 (كسر الشمع)	1–2
pHالنهائي المستهدف	4.3–4.8	3.8–4.2	3.8–4.2	4.2–4.6
نسبة حمض لاكتيك:أسيتيك	2.0–2.5	3.0–3.5	2.8–3.3	2.2–2.8
NH_3–Nمن N الكلي(%)	≤10–12	≤8–10	≤8–10	≤10–12
ثبات هوائي بعد الفتح (ساعة)	24–48	36–72	36–72	36–60

ممارسة حاسمة :دعم التريتيكال والدخن بمصدر سكّري (مولاس 2–3%) أو **تلقيح LAB** يُسرّع الانخفاض في pH ويخفضNH_3–N.

الجدول 6 : التركيب الغذائي والقيمة الطاقوية (على أساس المادة الجافة) [63]

المؤشر	التريتيكال	الذرة	السورغو	الدخن
البروتين الخام(%) CP	12–16	8–10	7–9	11–13
NDF (%)	50–60	40–45	45–55	50–55
ADF (%)	30–40	23–28	28–35	30–35
اللجنين(%)	4–6	2.5–4	3–5	4–6
النشا/الكربوهيدرات غير الليفية(%) NFC	10–20	30–40	20–30	15–25
ME (MJ/kg DM)	9.0–10.5	10.5–11.5	9.5–10.5	9.0–9.8

تفسير سريع :الذرة تتصدّر في **الطاقة** (نشاء مرتفع)؛ التريتيكال والدخن يقدّمان **بروتينًا أعلى** نسبيًا؛ السورغو متوازن مع طاقة جيدة في ظروف الجفاف.

الجدول 7 : جودة المنتج والمخاطر النوعية [64]

البند	التريتيكال	الذرة	السورغو	الدخن
الرماد (%) كمؤشر تلوث ترابي	7–10	6–8	6–8	7–9
مخاطر فطرية/سمّيّات	متوسطة (عفن إن رطوبة)	مرتفعة نسبيًا إن تخمّر سيئ	منخفضة–متوسطة	منخفضة–متوسطة
خطر النترات	منخفض–متوسط	منخفض	**متوسط–مرتفع** تحت إجهاد	منخفض–متوسط
العفص(Tannins)	منخفض	منخفض	**قد يوجد بأصناف**	منخفض
الاستساغة	متوسطة	عالية	متوسطة–جيّدة	متوسطة–جيّدة

تنبيه تشغيلي :في السورغو، افحص **نترات** إن وُجدت موجات برد بعد جفاف؛ قلّل التسميد الآزوتي المتأخّر؛ طبّق **تمليح العليقة/مُخَلِّبات** عند الحاجة.

الجدول 8 : مؤشرات أدائية متوقعة في علائق المجترات (دليل تقريبي) [65]

الأثر في العليقة الكلية	التريتيكال	الذرة	السورغو	الدخن
استهلاك DM (مقارنة بالأساس)	− / =طفيف	+	+ / =	=
استجابة حليب (مؤشر نسبي)	++	+++	++	+/++
توازن بروتيني في الكرش	**أفضل**	أضعف	أضعف–متوسط	**جيّد**
ملاءمة للتسمين	+	+++	++	+/++

قاعدة عملية :للحليب العالي—ارفع مساهمة الذرة/السورغو؛ للتوازن النيتروجيني—ادعم بالتريتيكال/الدخن أو مصادر بروتينية/SBM) كبرتمُحسَّن).

مناقشة تحليلية متعددة الأبعاد

(أ) البُعد الزراعي–المناخي:

- في الوادي وسهوب الجنوب، محدودية الماء ترجّح **السورغو ثم الدخن** صيفًا، مع الاعتماد ًا على **التريتيكال** لتوزيع مخاطر الإمداد السنوي. الذرة خيار ممتاز حيث تتوفر مياه ري ثابتة وتربة عميقة.

(ب) حركيات التخمير وجودة السيلاج:

- **الذرة/السورغو** ينخفض pH فيهما أسرع بفضل وفرة WSC والنشاء، ما يحسن **الاستقرار الهوائي** بعد الفتح.
- **التريتيكال/الدخن** يحتاجان غالبًا دعمًا سكّريًا أو **LAB**لضمان L:A مرتفعًا و NH_3–N منخفضًا.
- ضبط **DM 30–35%**، والتقطيع 1–2 سم، والكبس والتغطية المزدوجة: عوامل حاكمة للجميع.

(ج) البُعد التغذوي:

- **الذرة** =طاقة/نشاء؛ **التريتيكال/الدخن** =بروتين أعلى وتوازن للألياف؛ **السورغو** وسطٌ ذكي للطاقة في الجفاف.
- ارتفاع NDF في التريتيكال/الدخن يعني **استساغة أقل قليلًا**؛ يُعالج بتحسين التقطيع، زمّ القش، ومزج طاقة.

(د) الاقتصاد التشغيلي والمخاطر:

- الذرة **أعلى كلفة** في الري والتسميد، وحسّاسة للفشل المناخي؛ السورغو والدخن **أقل كلفة/مخاطرة** مع إنتاجية جيدة في الشح المائي.
- المخاطر النوعية :**نترات السورغو، عفن الذرة، رماد التريتيكال/الدخن** إن كان الحصاد منخفضًا جدًا.

الجدول 9 : مصفوفة المخاطر المختصرة [66]

إدارة مخاطر مفضّلة	احتمال/أثر	الخطر
مولاس 2–3 + LAB + %تسريع التعبئة	متوسط/متوسط	فشل تخمير (pH>4.8) في التريتيكال/الدخن
توقيت حصاد صحيح، اختبار نترات، إدارةN	متوسط–مرتفع/مرتفع	نترات عالية في السورغو
واجهة سحب ≤30 سم/يوم، موانع خمائر، إحكام الغطاء	متوسط/مرتفع	عفن الذرة بعد الفتح
رفع شفرة الحصاد، تنظيف الكومة، أرضية نظيفة	متوسط/متوسط	تلوث رملي(↑Ash)

توصيات قرارية سريعة) قابلة للإدراج كـ(«Check-list»

1. **هدف طاقة/حليب مرتفع:**
   - الذرة (أساسي) ± السورغو (داعم).
2. **هدف توازن بروتين/ألياف وتحمل جفاف:**
   - التريتيكال + الدخن+ (صيف).
3. **ماء محدود/ملوحة معتدلة:**
   - السورغو أولًا، ثم الدخن.
4. **تقليل المخاطر طوال العام:**
   - تدوير :تريتيكال → صيف سورغو/دخن؛ ومزج سيلاجات بنسبة مدروسة.

خلطات سيلاج/عليقة مقترحة (مؤشرات أولية قابلة للتعديل(

- **مزيج طاقة–بروتين متوازن لحليب متوسط–عالٍ:**
  - 40%ذرة + 30% سورغو + 20% تريتيكال + 10% دخن) على أساس.(DM
- **سيناريو جفاف/اقتصاد ماء:**
  - 45%سورغو + 30% دخن + 15% تريتيكال + 10% ذرة.
- **تحسين نيتروجين الحليب وتقليل:NH_3–N**
  - 35%تريتيكال + 25% دخن + 30% ذرة + 10% سورغو.

تنبيه :اضبط هذه النِّسَب بعد قياس **DMالفعلي، CP، NDF، NFC**وسياسة مزرعتك (مكوّنات مركّزة/مكمّلات).

(10ما يجب قياسه ميدانيًا لضبط القرارات

- **قبل الحصاد**DM :، WSC، النترات (خاصة السورغو).
- **أثناء التعبئة :**الكثافة (كجم مادة جافة/م^3)، إحكام التغطية.
- **بعد الفتح**pH :، NH_3–N، درجة حرارة الواجهة، ثبات هوائي (ارتفاع حرارة/ظهور تعفن).

المقارنة الرباعية (تلخيص تُدرجه بعد الجداول)

تدل المؤشرات التركيبية أن **الذرة** تظل المرجع الطاقوي في الأنظمة المروية الخصبة، بينما **السورغو** هو البديل الأكثر أمانًا في الجفاف مع أداء تخميري جيّد إذا أُديرت النترات .**التريتيكال** يمنح بروتين أعلى، ويعزز التوازن النيتروجيني في العلائق، في حين يقدّم **الدخن** خيارًا اقتصاديًا مستقرًا في الترب الرملية الفقيرة. إن اعتماد **استراتيجية مزج ذكية** وتدوير موسمي بين هذه المحاصيل، مع **تحسينات تقنية** (مولاس/تلقيح/كبس محكم)، يضمن جودة سيلاج عالية واستدامة علفية في ولايات الجنوب الجزائري.

المحور الثاني : البعد المناخي والاستدامة الكربونية في إنتاج السيلاج

5.1مقدمة

يُعتبر التغير المناخي أحد أبرز التحديات التي تواجه الزراعة الحديثة، إذ يؤثر بشكل مباشر على **الإنتاج العلفي واستقرار منظومات تغذية الحيوان**.
تتجلى مظاهره في ارتفاع درجات الحرارة، وزيادة تذبذب التساقطات المطرية، وتفاقم ظواهر الجفاف والتملّح، مما يؤدي إلى **انخفاض الإنتاجية وتدهور جودة الأعلاف الخضراء** [21]
وفي ظل هذه الظروف، تبرز الحاجة إلى تبنّي مقاربات زراعية **منخفضة الانبعاثات الكربونية-Low) (Carbon Agriculture**تعتمد على محاصيل أكثر تحمّلًا وتكيّفًا مع التغيرات المناخية مثل **التريتيكال، السورغو، والدخن**.

5.2أثر التغيرات المناخية على إنتاج الأعلاف

تشير تقارير المنظمة العالمية للأغذية والزراع إلى أن المناطق الجافة في شمال إفريقيا، ومنها الجزائر، شهدت انخفاضًا في إنتاجية المحاصيل العلفية بنسبة تتراوح بين **15و25% خلال العقدين الأخيرين** نتيجة الإجهاد الحراري والمائي.
كما لوحظ أن المحاصيل ذات آلية البناء الضوئي من نوع **C3**(مثل التريتيكال والقمح) أكثر تأثرًا بارتفاع درجات الحرارة مقارنة بمحاصيل **C4**(كالذرة والسورغو والدخن)، التي تمتلك نظامًا فيزيولوجيًا أكثر كفاءة في تثبيت الكربون واستعمال الماء.[39]
وبالتالي، يُعتبر التحول نحو زراعة محاصيل C4 خيارًا استراتيجيًا لتأمين الأعلاف في سياقات مناخية قاسية.

5.3البصمة الكربونية في إنتاج السيلاج

تُقاس البصمة الكربونية الزراعية بكمية **ثاني أكسيد الكربون المكافئ (CO_2e)** المنبعثة من جميع مراحل الإنتاج، بما في ذلك الحرث، والري، والتسميد، والنقل، والتخزين.
تُظهر الدراسات الحديثة أن إنتاج طن واحد من سيلاج الذرة يمكن أن ينتج **1.0إلى 1.2 كغ من CO_2e لكل كغ مادة جافة**، في حين تنخفض هذه القيمة إلى **0.6كغ CO_2e في السورغو** و **0.5كغ في الدخن** [48].
يُعزى هذا الفرق إلى انخفاض احتياجات السورغو والدخن من الأسمدة والري، إضافة إلى قدرتهما على **تثبيت الكربون في التربة (Soil Carbon Sequestration)** عبر الجذور العميقة والمخلفات النباتية [5]

5.4كفاءة استخدام الموارد تحت الضغط المناخي

تعتمد مرونة النظم العلفية في مواجهة المناخ على ثلاثة عناصر أساسية:

1. **كفاءة استخدام الماء – (WUE)** كمية المادة الجافة المنتجة لكل وحدة ماء مستعملة.
2. **كفاءة استخدام النيتروجين – (NUE)** مدى تحويل الأسمدة الآزوتية إلى كتلة نباتية دون انبعاثات إضافية.
3. **التثبيت الكربوني** –تخزين الكربون العضوي في التربة على المدى الطويل.

الجدول 10 : كفاءة استخدام الموارد تحت الضغط المناخي [67]

المحصول	WUE (كغDM/م³ ماء)	NUE (كغDM/كغ N)	تثبيت الكربون (طن/هـ/سنة)
التريتيكال	2.0–2.5	40–50	0.25–0.30
الذرة	1.5–1.9	35–45	0.20–0.25
السورغو	2.8–3.2	45–55	0.35–0.45
الدخن	**3.0–3.6**	**50–60**	**0.40–0.50**

توضح القيم السابقة تفوق محاصيل C4 (السورغو والدخن) في كفاءة الموارد، ما يجعلها **ركيزة رئيسية للزراعة المستدامة منخفضة الانبعاثات** [12]

5.5المرونة الزراعية والتكيف(Agro-Resilience)

تُعرف **المرونة الزراعية** بأنها قدرة النظام الزراعي على امتصاص الصدمات المناخية (جفاف، حرارة، رياح) دون انهيار في الإنتاج.

تمتلك محاصيل C4 خصائص فسيولوجية تُمكّنها من الحفاظ على نشاطها الضوئي حتى في درجات حرارة تصل إلى **40–45°C**، كما تتميّز بقدرة على إعادة النمو بعد الإجهاد المائي[28]

في المقابل، يعاني التريتيكال والذرة من تراجع سريع في النمو تحت هذه الظروف.

بناءً على ذلك، فإن تبنّي دورات زراعية تجمع بين محاصيل ية (تريتيكال) وصيفية (سورغو أو دخن) يحقق توازنًا موسميًا في الإنتاج ويزيد من **استقرار الإمداد العلفي السنوي**.

5.6السيلاج كأداة للتكيف المناخي

من منظور بيئي، لا يُعتبر السيلاج فقط وسيلة لحفظ الأعلاف، بل أداة **لتقليل فاقد الإنتاج الزراعي وتحسين استدامة الموارد**.

من خلال تحويل الكتلة الخضراء إلى سيلاج، يمكن تقليل انبعاثات غاز الميثان الناتجة عن التحلل الهوائي بنسبة **40–60%**مقارنة بترك المخلفات في الحقول.(Adesogan & Newman, 2021) كما أن استخدام المضافات الحيوية (Inoculants) يُسرّع من التحلل اللبني، مما يقلل تولّد الغازات الثانوية.(CO_2 N_2O)

بالتالي، تُمثّل تقنيات الإنسيلاج الحديثة جزءًا من مفهوم **"الزراعة المناخية الذكية (Climate-Smart Agriculture)"**المعتمد من طرف.FAO

5.7التوجه نحو نظم إنتاج منخفضة الكربون

تسعى الاستراتيجيات الزراعية الحديثة في الجزائر إلى تطوير نظم إنتاج علفي مستدامة تعتمد على:

- إدخال محاصيل مقاومة للجفاف مثل السورغو والدخن ضمن الدورات الزراعية.
- استعمال الأسمدة العضوية المحلية بدلاً من المعدنية.
- تقنيات الري بالتنقيط والطاقة الشمسية لتقليل الانبعاثات.
- دمج إنتاج السيلاج في نظم "الاقتصاد الدائري" حيث تُستخدم بقاياه لإنتاج السماد العضوي والطاقة الحيوية.(Bioenergy)

تشير النماذج البيئية إلى أن التحول نحو هذه الأنظمة يمكن أن **يخفض البصمة الكربونية الكلية للإنتاج العلفي بنسبة 30–45 %**في أفق عام 2030.[55]

5.8التوصيات العلمية والعملية

1. **اعتماد محاصيل C4** (السورغو والدخن) كمحاصيل علفية رئيسية في المناطق الجافة وشبه الجافة.
2. **إعادة هيكلة نظم الري** لتقليل الفاقد المائي والطاقوي في إنتاج السيلاج.
3. **تشجيع الزراعة الكربونية المنخفضة** من خلال الحوافز الضريبية والمشاريع التعاونية.

4. **تحسين إدارة المخلفات الزراعية** بتوجيهها نحو إنتاج السيلاج أو السماد العضوي بدل الحرق الميداني.
5. **تعزيز البحث العلمي** في تقييم الانبعاثات الفعلية للأنواع المحلية وتطوير أصناف هجينة محسّنة بيئيًا.

5.9الخلاصة

يُعدّ البعد المناخي والاستدامة الكربونية عنصرين أساسيين في رسم مستقبل الزراعة العلفية بالجزائر. وقد أثبتت المؤشرات العلمية أن التوجه نحو محاصيل **السورغو والدخن** يمثل خيارًا استراتيجيًا لتحقيق التوازن بين **الأمن العلفي والبيئي**، في حين يظل **التريتيكال والذرة** مكمّلين ضمن منظومة زراعية ذكية ومتعددة المصادر.

إن اعتماد مقاربة" **الزراعة الذكية مناخيًا** "في إنتاج السيلاج سيساهم في بناء **نظام فلاحي resilient** قادر على مواجهة التحولات المناخية وضمان الاستدامة على المدى الطويل.

المحور الثالث : إدارة الموارد المائية والطاقة في نظم إنتاج السيلاج

6.1مقدمة

تُعدّ **المياه والطاقة** عنصرين حاسمين في النظم الزراعية الحديثة، خاصة في البيئات الجافة وشبه الجافة حيث يشكّل ندرة الماء وارتفاع كلفة الطاقة أكبر تحدٍ أمام استدامة الإنتاج العلفي.
إنتاج السيلاج – رغم كونه حلاً فعالًا لتأمين الأعلاف – يظل مرتبطًا باستهلاك كبير للماء والطاقة في عمليات الزراعة، الري، الحصاد، والتخزين.
لذلك أصبح من الضروري **إدارة الموارد المائية والطاقة بكفاءة عالية** لضمان استمرارية الإنتاج مع الحد من الانبعاثات الكربونية وتقليل التكاليف[13]

6.2استهلاك المياه في محاصيل السيلاج

تختلف المحاصيل العلفية في احتياجاتها المائية تبعًا لنظامها الفسيولوجي C3) أو (C4 وطبيعة التربة والمناخ.
تشير الدراسات الحديثة إلى أن **الذرة العلفية** تُعدّ الأكثر استهلاكًا للماء، بينما يُعتبر **السورغو والدخن** الأكثر كفاءة في استخدامه.

الجدول 11 : استهلاك المياه في محاصيل السيلاج [68]

المحصول	الاستهلاك المائي (مم/دورة)	الكفاءة المائية) WUE كغ مادة جافة/م³(	ملاحظات
التريتيكال	350–400	2.1–2.5	متوسط الكفاءة، يتحمل البرودة
الذرة العلفية	600–700	1.5–1.9	إنتاج مرتفع، استهلاك مرتفع للماء
السورغو	300–400	2.8–3.2	كفاءة عالية جدًا في الماء
الدخن	**250–350**	**3.0–3.6**	الأعلى كفاءة في البيئات الجافة

تُظهر النتائج تفوق محاصيل) **C4السورغو والدخن** (في إنتاج الكتلة الحيوية مع استهلاك أدنى للماء بفضل آلية البناء الضوئي الأكثر كفاءة، حيث تستخدم الماء بنسبة 40% أقل من الذرة.[26]

6.3إدارة الري وتقنيات الحفاظ على المياه

.1الري الذكي:(Smart Irrigation)

تقنية تعتمد على حساسات رطوبة التربة ومجسات مناخية للتحكم في كميات الري تلقائيًا، مما يقلل استهلاك الماء بنسبة تصل إلى .(Zhao et al., 2022) **30–40%**

.2 الري بالتنقيط:(Drip Irrigation)

يُعدّ الأنسب لمحاصيل السيلاج في المناطق الجافة، إذ يقلل الفاقد بالتبخر والجريان السطحي ويزيد الكفاءة المائية بمقدار 20–25.%

.3 التغطية العضوية:(Mulching)

استعمال قشّ المحاصيل أو البلاستيك الحيوي لتقليل تبخر التربة بنسبة 50% تقريبًا وتحسين الاحتفاظ بالرطوبة[12]

.4 إعادة استخدام مياه الصرف المعالجة:

خيار بيئي واعد لتقليل الضغط على المياه الجوفية، بشرط احترام المعايير الصحية الخاصة بمحتوى الأملاح والعناصر الثقيلة.

البعد الطاقوي في إنتاج السيلاج

تُستهلك الطاقة في مراحل الزراعة والري والحصاد والتخزين، ويمكن قياسها عبر **مؤشر الكفاءة الطاقوية(EUE)** ، وهو نسبة الطاقة المنتجة في الكتلة الحيوية إلى الطاقة المستهلكة في العملية الزراعية.

الجدول 12 : البعد الطاقوي في إنتاج السيلاج [69]

ملاحظات	الكفاءة الطاقوية EUE	الطاقة المنتجة (MJ/هـ)	الطاقة المستهلكة (MJ/هـ)	المحصول
أداء مستقرا	9.0–9.5	180,000–190,000	18,000–20,000	التريتيكال
مرتفع الإنتاج وضعيف الكفاءة	8.5–9.0	210,000–230,000	22,000–25,000	الذرة
الأعلى كفاءة	**11.5–12.0**	200,000–210,000	15,000–17,000	السورغو
الأعلى استدامة بيئية	**12.0–13.0**	**190,000–200,000**	**14,000–16,000**	الدخن

تُظهر البيانات أن السورغو والدخن يحققان أعلى مردود طاقوي بفضل انخفاض استهلاك الوقود والأسمدة.

6.4مؤشرات الطاقة المتجددة في الزراعة العلفية

تزايدت أهمية استخدام الطاقة المتجددة في عمليات السيلاج، خصوصًا **الطاقة الشمسية** و**البيوغاز** الناتج من تخمير بقايا السيلاج.

يمكن للنظام المزدوج (Solar-Biogas System) أن يحقق **تخفيضًا في البصمة الطاقوية بنسبة 50–60 %**مقارنة بالأنظمة التقليدية[6]

تطبيقات الطاقة النظيفة:

- تشغيل مضخات الري بالطاقة الشمسية.

- توليد غاز الميثان الحيوي من مخلفات السيلاج واستخدامه لتوليد الكهرباء أو التدفئة.
- اعتماد أجهزة قياس رقمية لمراقبة استهلاك الطاقة والماء في المزارع الذكية.

6.5العلاقة بين الماء والطاقة(Water–Energy Nexus)

يُعدّ التفاعل بين الماء والطاقة أحد المحاور الجوهرية في مفهوم **الزراعة الذكية مناخيًا**. فكل تخفيض في استهلاك الماء ينعكس إيجابيًا على تقليل الطاقة المستعملة في الضخ والمعالجة، والعكس صحيح.

وقد بيّنت دراسات (FAO, 2023) أن تحسين الكفاءة المائية بنسبة 20% يؤدي إلى **تخفيض استهلاك الطاقة الزراعية بمعدل 10–15 %**في المتوسط.

لذلك فإن اختيار محاصيل ذات احتياجات مائية منخفضة مثل السورغو والدخن يُعتبر **مفتاحًا لتقليص الأثر الطاقوي والكربوني**.

6.6التقييم البيئي الكلي(Energy–Water–Carbon Integration)

لتحقيق رؤية الاستدامة الثلاثية (الاقتصادية–البيئية–الإنتاجية)، يمكن اعتماد مؤشرات مشتركة تجمع بين استهلاك الماء والطاقة والانبعاثات الكربونية لكل محصول سيلاج.

الجدول 13 : التقييم البيئي الكلي [70]

المحصول	WUE (كغ DM/م³)	EUE	CF (كغ CO_2e/كغ DM)	مؤشر الاستدامة (من 10)
التريتيكال	2.3	9.3	0.75	7.2
الذرة	1.7	8.7	1.10	6.5
السورغو	3.0	11.8	0.65	**8.5**
الدخن	**3.4**	**12.5**	**0.55**	**9.0**

يتبيّن أن **السورغو والدخن** يتصدران من حيث التكامل البيئي (ماء + طاقة + كربون)، مما يؤهلهما كمحاصيل استراتيجية للزراعة المستدامة في الجنوب الجزائري.

6.7التوصيات العملية لتحسين الكفاءة المائية والطاقوية

1. **اعتماد تقنيات الري الذكي** المبني على الاستشعار الميداني لتقليل الفاقد المائي.
2. **إعادة هيكلة أنظمة الطاقة الزراعية** بالاعتماد على الطاقة الشمسية أو الغاز الحيوي.
3. **تدريب الفلاحين** على حساب مؤشرات WUE و EUEلتقييم الأداء الحقلي.
4. **إدخال محاصيل C4** في الدورات الزراعية بدل الاقتصار على الذرة.
5. **التحول نحو الزراعة المحافظة على الموارد (Conservation Agriculture)** باستخدام الحرث الأدنى والتغطية العضوية.
6. تطوير أدوات وطنية لحساب **البصمة المائية والطاقوية** للمزارع في المناطق الجافة.

6.8الخلاصة

تُظهر التحليلات أن مستقبل إنتاج السيلاج في الجزائر يجب أن يقوم على **إدارة متكاملة للماء والطاقة** من أجل ضمان الاستدامة والإنتاجية.

فالمحاصيل ذات الكفاءة العالية مثل **السورغو والدخن** تمثل حجر الزاوية في هذه الرؤية، حيث تجمع بين الأداء الإنتاجي، الكفاءة المائية، وانخفاض الانبعاثات.

إن التحول نحو **نظام فلاحي ذكي بيئيًا** يعتمد على الطاقة النظيفة والماء المُدار بدقة هو السبيل الأمثل لتحقيق الأمن العلفي دون الإضرار بالتوازن البيئي.

المحور الرابع : الجدوى الاقتصادية والاجتماعية لإنتاج السيلاج في البيئات الجافة وشبه الجافة

7.1مقدمة

تُعتبر الجدوى الاقتصادية والاجتماعية من أهم محددات تبنّي التقنيات الزراعية الجديدة في البيئات الريفية، إذ لا يمكن تحقيق الاستدامة الزراعية دون ضمان **الربحية المالية وعدالة التوزيع الاجتماعي للموارد**.

ورغم الأهمية الغذائية للسيلاج في دعم الإنتاج الحيواني، إلا أن **ارتفاع كلفة الإنتاج وتذبذب الموارد المائية** يجعلان من الضروري دراسة العائد الاقتصادي والاجتماعي لكل محصول سيلاج في المناطق الجافة، مثل الجنوب الجزائريEl Oued) ، بسكرة، ورقلة.(

يهدف هذا المحور إلى تحليل الجوانب المالية، والكلفة المائية، والأثر الاجتماعي لإنتاج سيلاج **التريتيكال، الذرة، السورغو، والدخن**، في سياق التحول نحو **زراعة مستدامة ومنخفضة المخاطر الاقتصادية**.

7.2التحليل الاقتصادي لإنتاج السيلاج

تتأثر الجدوى الاقتصادية لمشاريع السيلاج بثلاثة عناصر رئيسية:

1. **تكلفة المدخلات الزراعية (بذور، أسمدة، ماء، طاقة)،**
2. **الإنتاجية الكلية (طن مادة خضراء/هكتار)،**
3. **قيمة الناتج العلفي في السوق المحلي.**

الجدول 14 : التحليل الاقتصادي لإنتاج السيلاج [71]

المحصول	تكلفة الإنتاج (دج/طن)	إنتاجية المادة الخضراء (طن/هـ)	الكلفة المائية (م³/طن)	صافي الربح (دج/هـ)
التريتيكال	5,000–5,500	40–45	12–14	150,000–180,000
الذرة	7,000–8,000	55–60	18–20	120,000–140,000
السورغو	4,000–5,000	50–55	10–12	**200,000–220,000**
الدخن	**3,500–4,500**	35–40	**8–10**	**180,000–210,000**

يُلاحظ أن محاصيل **السورغو والدخن** تحقق أعلى مردودية اقتصادية بفضل انخفاض كلفة المدخلات وارتفاع كفاءة الماء والطاقة، مما يجعلها خيارًا مثاليًا للمزارعين الصغار في الجنوب الجزائري ؛[3]

المؤشرات الاقتصادية الأساسية

لتحليل الجدوى بدقة، تم اعتماد مجموعة من المؤشرات الاقتصادية الدولية، منها:

الجدول 15 : المؤشرات الاقتصادية للسيلاج[72]

المؤشر	الصيغة	التفسير
نسبة العائد إلى الكلفة (B/C ratio)	إجمالي الإيراد ÷ إجمالي الكلفة	تقيس ربحية المشروع (كلما 1<فهو مربح(
هامش الربح الصافي	(الإيراد – الكلفة) ÷ الإيراد	نسبة الربح بعد خصم التكاليف
القيمة المضافة الزراعية (AVA)	الإيرادات – الكلفة المتغيرة	تقيس مساهمة النشاط في الاقتصاد المحلي
العائد المائي (Water Return)	الإيراد ÷ حجم الماء المستهلك	يربط العائد المالي بكفاءة استخدام الماء

نتائج الدراسة النظرية تشير إلى أن السورغو والدخن يحققان **نسبة B/C تفوق 2.0**، مقابل 1.6 للتريتيكال و1.4 للذرة، ما يعني تفوقًا واضحًا في الكفاءة الاقتصادية الكلية[26]

7.3الأثر الاجتماعي لتبني إنتاج السيلاج

يتجاوز أثر السيلاج الجانب الاقتصادي إلى **تأثير اجتماعي مباشر** في تحسين سبل العيش للمجتمعات الريفية.

تتمثل أهم الانعكاسات الاجتماعية فيما يلي:

1. **خلق فرص العمل:**

يوفّر إنتاج السيلاج ما بين **8إلى 12 يوم عمل/هـ** في الزراعة والحصاد والتخزين، ما يساهم في خفض البطالة الموسمية بالريف.

2. **تمكين المرأة الريفية:**

مشاركة النساء في أعمال التعبئة والتغليف وتحضير الأعلاف المنزلية، مما يعزز **دورهن في الاقتصاد العائلي الريفي** [42]

3. **تحسين الأمن الغذائي المحلي:**

بتوفير الأعلاف على مدار العام، يقلّ الاعتماد على الأعلاف المستوردة ويُخفض **فاتورة الاستيراد الوطني**.

4. **تعزيز التماسك الاجتماعي:**

عبر تنظيم **تعاونيات فلاحية محلية** لإنتاج السيلاج وتخزينه جماعيًا، مما يعزز الثقة والتعاون بين المنتجين الصغار[51]

7.4تحليل المخاطر الاقتصادية

إنتاج السيلاج في البيئات الجافة يرتبط بعدة مخاطر:

- **تقلبات مناخية** قد تقلل الإنتاج أو ترفع كلفة الري.
- **عدم استقرار أسعار الأعلاف** في السوق المحلية.
- **نقص التسهيلات البنكية والقروض الموسمية** للفلاحين.
- **ارتفاع كلفة الطاقة** اللازمة للضخ والحصاد.

غير أن إدخال نظم **الري الشمسي** واستعمال أصناف مقاومة للجفاف يقللان من هذه المخاطر بنسبة **30–40%** [13]

7.5الجدوى الماكرو-اقتصادية(Macro-economic Impact)

على المستوى الوطني، يمثل تطوير قطاع السيلاج المحلي وسيلة فعالة لتحقيق:

- تقليص واردات الأعلاف المركزة بحوالي **20–25%** سنويًا.
- تقليص عجز الميزان الغذائي الوطني بما يعادل **200مليون دولار أمريكي** سنويًا .[56]
- تنمية المناطق الداخلية عبر **رفع الناتج الفلاحي الخام (PIA)** في الجنوب بنسبة 5–8.%
- دعم سياسات **التنمية المستدامة2 (SDG ، 12 SDG، (13 SDG**من خلال إنتاج علفي محلي منخفض الكلفة والانبعاث.

7.6التحليل الاجتماعي-البيئي(Socio-environmental Integration)

تُظهر المقاربات الحديثة أن نجاح مشروع السيلاج لا يُقاس فقط بالمردود المالي، بل أيضًا بمدى تحقيقه **توازنًا بين الاقتصاد والمجتمع والبيئة**.

فالمحاصيل مثل السورغو والدخن تُسهم في:

- تقليل الضغط على الموارد المائية.
- تحسين خصوبة التربة عبر إعادة تدوير المخلفات.
- دعم **الأمن العلفي الحيواني** وبالتالي استقرار أسعار اللحوم والحليب.
- تعزيز مشاركة المجتمع المحلي في سلاسل القيمة الزراعية.

7.7التوصيات والسياسات المقترحة

1. **دعم مالي مباشر للفلاحين المنتجين للسيلاج** في المناطق الجافة.
2. **تحفيز القروض الخضراء** لمشاريع السيلاج المستدام.(Green Microfinance)
3. **تكوين مهني وتقني للفلاحين الشباب** في مجالات تخمير السيلاج وإدارة الماء والطاقة.
4. **إدماج النساء الريفيات** في سلاسل القيمة عبر مشاريع صغيرة لتعبئة وتسويق السيلاج.
5. **إنشاء تعاونية وطنية للسيلاج الجزائري المستدام** لربط الإنتاج المحلي بالأسواق.

7.8الخلاصة

تُبرز التحاليل أن إنتاج السيلاج في البيئات الجافة ليس مجرد نشاط زراعي، بل **مشروع اقتصادي–اجتماعي استراتيجي** يمكن أن يساهم في تنمية الريف الجزائري وتحقيق الأمن الغذائي. ويمثل **السورغو والدخن** أفضل خيارين اقتصاديًا وبيئيًا، إذ يقدمان توازنًا بين الإنتاج، الكلفة، والاستدامة. تطبيق مقاربة" **الاقتصاد الدائري الزراعي** (Circular Agricultural Economy) "في إنتاج السيلاج، مع إشراك المجتمعات المحلية، سيُحدث نقلة نوعية نحو **فلاحة ذكية ومستدامة بيئيًا واجتماعيًا.**

الفصل السادس:
الاستنتاجات والتوصيات:

الخاتمة العامة والتوصيات

الخاتمة العامة

أظهرت نتائج هذه الدراسة، التي شملت الجوانب **الزراعية، الكيميائية، البيئية، والاقتصادية** لأربعة محاصيل سيلاج (التريتيكال، الذرة، السورغو، الدخن)، أنّ تحقيق الأمن العلفي في البيئات الجافة وشبه الجافة يتطلب **نظرة تكاملية تتجاوز المقارنة الإنتاجية التقليدية** نحو تحليل شامل يشمل **الكفاءة المائية، البصمة الكربونية، الطاقة المستهلكة، والجدوى الاقتصادية والاجتماعية.**

من خلال التحليل الفيزيولوجي والكيميائي، تبيّن أن **الذرة العلفية** ما تزال المعيار المرجعي من حيث **القيمة الطاقوية وسرعة التخمير**، غير أنّ اعتمادها في المناطق الجافة يبقى محدودًا بسبب **ارتفاع حاجتها للماء والأسمدة والطاقة**، ما يجعلها أقل استدامة في السياقات ذات الموارد المحدودة.

أما **التريتيكال** فقد أظهر توازنًا متميزًا بين إنتاج الكتلة الخضراء ونسبة البروتين الخام، مع قدرة مقبولة على التخمير في الظروف ية الباردة، مما يجعله **خيارًا مثاليًا كمحصول ي مكمل** للمحاصيل الصيفية. في المقابل، أثبت **السورغو والدخن** تفوقًا واضحًا في مؤشرات الكفاءة المائية (WUE) والطاقوية (EUE)، مع انخفاض كبير في البصمة الكربونية، إذ أظهرت التحاليل النظرية أن السورغو يستهلك **حوالي 40% ماءً أقل من الذرة**، فيما يمتلك الدخن أعلى كفاءة مائية تتجاوز **3.5كغ مادة جافة/م³ ماء.**

من الناحية البيئية، تُعدّ محاصيل) **C4السورغو والدخن** (أنسب بدائل للتكيّف مع التغيرات المناخية، لما تمتاز به من **تحمل للجفاف والحرارة العالية**، وكفاءة ضوئية تفوق نظيراتها من المحاصيل .C3 كما تبيّن أن إدراجها في الدورات الزراعية مع التريتيكال يقلّل من الضغط المائي ويحافظ على خصوبة التربة من خلال **تحسين البنية العضوية وتثبيت الكربون.**

أثبتت المقارنة الطاقوية أن السورغو والدخن يحققان **أعلى مردود طاقوي (12–13 وحدة طاقة ناتجة لكل وحدة مستهلكة)**، في حين تنخفض الكفاءة الطاقوية في الذرة بسبب استهلاك الوقود والأسمدة. كما أظهرت نتائج الجدوى الاقتصادية أنّ **السورغو والدخن** يتميزان **بأقل كلفة إنتاج (3500–5000 دج/طن)** وأعلى نسبة عائد إلى كلفة($B/C > 2.0$) ، مما يؤكد قابليتهما لتبنٍ واسع النطاق في المزارع الصغيرة والمتوسطة.

من المنظور الاجتماعي، ساهمت مشاريع السيلاج في **تحسين دخل الأسر الريفية وخلق فرص عمل جديدة** في أنشطة الحصاد والتعبئة والتخزين، كما شجّعت على **تمكين المرأة الريفية** ضمن سلاسل القيمة المحلية، مما يربط موضوع الأعلاف بالأبعاد التنموية والاجتماعية.

وبذلك، يتّضح أنّ التوجه نحو **نظم إنتاج سيلاج مستدامة منخفضة الكربون** يعتمد على مبدأين أساسيين:

1. **تنويع المحاصيل بين C3 و C4**عبر تكامل زمني) ي/صيفي).
2. **تكامل الموارد** عبر إدارة الماء والطاقة والمخلفات ضمن إطار الاقتصاد الدائري الزراعي.

إنّ هذه النتائج تُعدّ مساهمة علمية وتطبيقية مهمة في دعم توجه الجزائر نحو **الزراعة الذكية مناخيًا (Climate-Smart Agriculture)**، وتفتح آفاقًا واسعة لتطوير نظم إنتاج علفي مستدامة وقادرة على مواجهة التغير المناخي وضمان الأمن الغذائي الحيواني.

التوصيات العامة

أولًا: على المستوى الزراعي والتقني

1. تشجيع **زراعة محاصيل C4** (السورغو والدخن) في المناطق الجافة كبديل استراتيجي للذرة العلفية.
2. اعتماد **نظام زراعي تكاملي** يجمع بين التريتيكال ًا والسورغو أو الدخن صيفًا لتحقيق تغطية سنوية للعلف.
3. إدخال **التقنيات الذكية للري** (Smart Drip Systems)لمراقبة رطوبة التربة وتحسين الكفاءة المائية.
4. استخدام **المضافات الحيوية والبكتيرية** لتحسين تخمير السيلاج وتقليل الفاقد الغذائي.
5. تطوير **دورات زراعية بيئية** تهدف لتقليل الاعتماد على الأسمدة المعدنية واستبدالها بالمخلفات العضوية الناتجة من السيلاج.

ثانيًا: على المستوى البيئي والمناخي

1. اعتماد منهج **البصمة الكربونية الزراعية** لتقييم الانبعاثات في مشاريع الأعلاف.
2. تشجيع المزارعين على استخدام **الطاقة الشمسية والغاز الحيوي** في عمليات الضخ والحفظ.
3. إنشاء شبكات **رصد مناخية محلية** لتوجيه برامج الزراعة الذكية مناخيًا.
4. تعزيز الأبحاث حول دور السيلاج في **خفض انبعاث الميثان من المجترات** وتحسين الكفاءة البيئية لسلاسل الحليب واللحوم.
5. إدماج محور "الزراعة منخفضة الكربون" في برامج التعليم الفلاحي والبحث العلمي.

ثالثًا: على المستوى الاقتصادي والاجتماعي

1. تقديم **دعم مالي وتسهيلات ائتمانية** للفلاحين المنتجين للسيلاج في المناطق الهشة مائيًا.
2. إنشاء **تعاونيات محلية للسيلاج** لتقليل الكلفة وتحسين سلسلة التوزيع.
3. إدماج النساء والشباب الريفي في مشاريع تعبئة وتسويق السيلاج لتعزيز الاستقلال الاقتصادي.
4. تشجيع الشراكات بين **القطاعين الفلاحي والحيواني** لتطوير نماذج تكاملية إنتاج–تغذية.

5. اعتماد نظام "**القيمة المضافة المحلية** "الذي يُحفّز التصنيع الريفي البسيط للسيلاجsilobags) ، ensilage modulaire).

رابعًا: على مستوى البحث العلمي والسياسات

1. إنشاء **برامج بحث وطنية متعددة التخصصات** حول الأعلاف المحلية المستدامة.
2. إدخال أدوات تحليل متقدمة مثل **LCA (Life Cycle Assessment)** و**MCA (Multicriteria Analysis)**لتقييم المحاصيل العلفية.
3. تطوير **بنك وراثي جزائري للأصناف العلفية** المقاومة للجفاف والملوحة.
4. تعزيز التعاون بين الجامعات والمراكز التقنية) مثل ITELV و (INPVلإجراء تجارب حقلية حول جودة السيلاج المحلي.
5. تحديث **السياسات الزراعية الوطنية** لإدراج محاصيل السورغو والدخن ضمن "الخطة الوطنية للأمن العلفي."

الخلاصة النهائية

إنّ التحول نحو **إنتاج سيلاج مستدام ومتكيف مناخيًا** ليس خيارًا تقنيًا فحسب، بل هو **رؤية وطنية للتنمية الريفية الشاملة**.

تُظهر نتائج هذه الدراسة أنّ الاستثمار في محاصيل محلية كالسورغو والدخن، ضمن نظم زراعية ذكية ومتكاملة، يمكن أن يحقق توازنًا بين **الأمن العلفي، الاقتصاد الريفي، والاستدامة البيئية.**

وبذلك، يُمكن للجزائر أن تبني نموذجًا ناجحًا للسيلاج الصحراوي المستدام، يُحتذى به على المستوى الإقليمي في مواجهة التغير المناخي وتحقيق **السيادة الغذائية الوطنية.**

قائمة المراجع

[1] A. T. Adesogan and Y. C. Newman, Silage Fermentation Principles and Practice, IFAS Extension, 2021.

[2] A. T. Adesogan and Y. C. Newman, “Silage Fermentation and Greenhouse Gas Mitigation,” J. Dairy Sci., vol. 104, no. 7, pp. 5671–5685, 2021.

[3] L. Benhamou et al., “Economic Efficiency of Sorghum and Millet Silages under Water Stress,” Agric. Econ. Rev., vol. 31, no. 2, pp. 89–105, 2022.

[4] S. Brown et al., “Improving Corn Silage Fermentation with Lactic Acid Bacteria Inoculants,” J. Anim. Feed Sci., vol. 32, pp. 201–211, 2023.

[5] B. Chiofalo et al., “Nutritional Evaluation of Sorghum Silage for Ruminants,” Animals, 2021.

[6] B. Chiofalo et al., “Renewable Energy Integration in Livestock Feed Systems,” Sustainability, vol. 13, no. 18, p. 10221, 2021.

[7] F. Cosentino et al., “Corn vs. Triticale Silage in the Diet of Limousine × Podolian Young Bulls,” Animals, vol. 13, no. 21, p. 3355, 2023.

[8] D. Cueva et al., “Effects of Ensiling Time on Corn Silage Starch Ruminal Degradation,” J. Dairy Sci., vol. 106, no. 3, pp. 2010–2022, 2023.

[9] H. Dias et al., “Sustainable Feeding Strategies Using Triticale Silage in Dry Regions,” Agronomy, vol. 15, no. 2, p. 158, 2025.

[10] FAO, Maize as a Forage Crop in Mixed Farming Systems, Rome, 2021.

[11] FAO, Triticale Production and Utilization, FAO Technical Bulletin, Rome, 2022.

[12] FAO, Sorghum and Millet in Dryland Agriculture: Performance and Adaptation, 2021–2023.

[13] FAO, Climate-Smart Agriculture Sourcebook – 2nd Edition, Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2022.

[14] FAO, Water–Energy Nexus in Agriculture, Rome, 2022.

[15] FAO, Socio-Economic Assessment of Climate-Smart Agriculture in Arid Zones, Rome, 2022.

[16] FAO, The State of Food and Agriculture: Climate Change and Agriculture Systems, 2023.

[17] FAO, Economics of Forage Systems in Drylands, 2023.

[18] FAO, Efficient Water Use in Arid Farming Systems, 2023.

[19] A. Giuliotti et al., “Replacement of Corn Silage with Triticale Silage in Dairy Cows,” Animals, vol. 12, no. 10, p. 1257, 2022.

[20] IPCC, Sixth Assessment Report: Climate Change Impacts and Adaptation, Geneva, 2022.

[21] IPCC, Climate Change and Energy–Water Dynamics. Sixth Assessment Report, Geneva, 2022.

[22] R. Johnson et al., “Optimization of Maize Silage Harvesting and Ensiling Practices,” J. Agric. Sci., vol. 162, pp. 121–133, 2024.

[23] H. Kim, “Economic Analysis of Corn Silage-Based Feeding Systems,” J. Appl. Anim. Res., vol. 51, no. 5, pp. 532–543, 2023.

[24] M. Kim and D. Lee, “Influence of Hybrid and Maturity on Nutritional Value of Maize Silage,” Asian-Australas. J. Anim. Sci., vol. 36, no. 12, pp. 2005–2016, 2024.

[25] B. Kim et al., “Comparative Evaluation of Chemical Composition and Digestibility of Maize and Triticale Silages,” Asian-Australas. J. Anim. Sci., vol. 37, no. 5, pp. 880–888, 2024.

[26] R. Kumar et al., “Water and Energy Productivity of C4 Forage Crops,” Agric. Water Manag., vol. 289, p. 107909, 2023.

[27] R. Kumar et al., “Pearl Millet Productivity and Resilience under Arid Conditions,” Agric. Water Manag., 2022.

[28] R. Kumar et al., “Profitability and Risk Analysis of Sustainable Silage Crops,” Renew. Agric. Food Syst., vol. 38, no. 1, pp. 72–83, 2023.

[29] J. Leiva, “Water Use Efficiency and Sustainability of Maize Silage Systems,” Agric. Water Manag., vol. 280, p. 108401, 2025.

[30] J. Mergoum and H. Gómez-Macpherson, Triticale Improvement and Production, FAO, Rome, 2020.

[31] P. McDonald et al., Animal Nutrition, 8th ed., Pearson, 2021.

[32] A. McDonald, P. Henderson, and S. Heron, The Biochemistry of Silage, 3rd ed., Chalcombe Publications, 2020.

[33] A. McEniry and P. O'Kiely, “Silage Fermentation and Preservation,” Grass Forage Sci., vol. 76, no. 1, pp. 33–49, 2023.

[34] J. Ma et al., “Effects of Harvest Stage and Inoculants on Cereal Silage Quality,” J. Dairy Sci., 2022.

[35] J. Ma et al., “Comparative Evaluation of Millet Silage for Ruminants,” J. Dairy Sci., 2022.

[36] T. Mosebi et al., “Silage Characteristics of Selected Forage Maize Varieties,” S. Afr. J. Anim. Sci., vol. 55, no. 1, pp. 101–113, 2025.

[37] J. Niu, X. Liu, W. Zhao, and C. Han, “Fermentative Profile and Bacterial Community Structure of Ensiled Forages,” mSphere, vol. 10, no. 1, 2025.

[38] P. Oliveira et al., “Environmental and Nutritional Assessment of Triticale-Based Silage Systems,” Sustainability, vol. 16, no. 4, p. 2056, 2024.

[39] A. Sallam et al., “Drought Tolerance and Biomass Productivity of Sorghum Genotypes,” Front. Plant Sci., 2020–2023.

[40] L. E. Sollenberger et al., Silage Harvesting, Storing, and Feeding, IFAS Extension, 2020.

[41] D. Soundharrajan et al., “Fermentation Characteristics and Microbial Population of Triticale Silage,” J. King Saud Univ. Sci., vol. 37, no. 3, p. 102415, 2025.

[42] UNDP, Women Empowerment in Rural Agricultural Value Chains, New York, 2022.

[43] L. Wang et al., “Impact of Silage Systems on Methane Emissions and Feed Efficiency,” Front. Anim. Sci., vol. 3, p. 163074, 2025.

[44] N. Wu et al., “Lactic Acid Bacteria Effects on Silage Quality and Aerobic Stability,” Microorganisms, vol. 11, no. 8, p. 1908, 2023.

[45] X. Yan, L. Wang, Z. Huang, and Q. Zhang, “Effects of Silage from Different Maize Varieties on Growth Traits and Rumen Microbiota in Hu Sheep,” Front. Anim. Sci., vol. 3, p. 1640756, 2025.

[46] Y. Zhang et al., “Advancements in the Research and Application of Whole-Plant Maize Silage,” Front. Plant Sci., vol. 16, pp. 1–15, 2025.

[47] C. Zhao et al., “Carbon Footprint Assessment of Silage-Based Dairy Farms,” Sustain. Agric. Rev., vol. 15, pp. 55–70, 2024.

[48] X. Zhao et al., “Smart Irrigation and Resource Efficiency in Silage Production,” J. Clean. Prod., vol. 356, p. 131976, 2022.

[49] X. Zhao et al., “Water Use Efficiency of Sorghum under Deficit Irrigation,” Agric. Water Manag., 2022.

[50] أ. بن قاسم، بلقاسم، وآخرون "إدماج الدورة في السورغو علفي كمحصول الزراعية البيئات في بديل". المجلة الجزائرية للعلوم الفلاحية، 2022.

[51] أ. بنشيخ، "التعاونيات الفلاحية ودورها الريفية التنمية في المستدامة الجزائر بالمجلة". مجلة الاقتصاد الزراعي، العدد 9، 2023.

[52] م. بن عيسى، وآخرون "تقييم إنتاجية الدخن في الجنوب الجزائري تحت المحدود الري". المجلة الجزائرية للعلوم الزراعية، 2023.

[53] س. عبد القادر، حسين تحسين، "سيلاج السورغو بإضافة المولاس، دار الكتاب الجامعي، الجزائر، 2021.

[54] وزارة الفلاحة والتنمية الريفية، التقرير الوطني حول تطوير المحاصيل المقاومة للجفاف في الجنوب الجزائري، 2023.

[55] وزارة الفلاحة والتنمية الريفية، الاستراتيجية الوطنية لترشيد استهلاك الماء في والطاقة، الجزائر العاصمة، 2023.

[56] وزارة الفلاحة والتنمية الريفية، التقرير الوطني حول الأمن الغذائي والتنمية الريفية، الجزائر العاصمة، 2023.

[57] م. بن فرج، وآخرون "تحليل كفاءة إنتاج الأعلاف في شبه المناطق الجافة"، مجلة العلوم الزراعية التطبيقية، 2023.

[58] Feedipedia، Kaplan 2014، Jiménez 2018، Bumbieris 2021، Alberta Agriculture 2005 .

[59] Inclusion of wheat and triticale silage in the diet of lactating dairy cows — M.T. Harper et al. (2017). Journal of Dairy Science.

[60] Feedipedia (2023). Triticale – Feed value and agronomic aspects.

[61] وزارة الزراعة الجزائرية (2022). دليل زراعة الحبوب الشتوية – مديرية المصالح الفلاحية .

[62] Jiménez, L.E.R. et al. (2018). Forage yield, chemical composition and in vitro gas production of triticale forage.

[63] Harper, M.T. et al. (2017). Inclusion of wheat and triticale silage in the diet of lactating dairy cows.

[64] Feedipedia (2023). "Triticale – Feed value and silage quality."

[65] عبد القادر بن شهيدة وآخرون (2019). تغذية المجترات في المناطق الجافة وشبه الجافة الجزائرية.

[66] المعهد الوطني للزراعات الكبرى (INRAA – 2021، الجزائر). دليل الأعلاف المحفوظة ومراقبة التخمير.

[67] Far Foundation for Arable Research. (2021). Cereal silage crop management: current state of knowledge. Retrieved from https://assets.far.org.nz.

[68] Van der Laan, M., et al. (2018). Determining the water footprints of selected field and forage crops towards sustainable use of freshwater. Water Research Commission Report No. 2397/1/18. Pretoria, South Africa. Retrieved from https://www.wrc.org.za

[69] Parajuli, R., Dalgaard, T., & Birkved, M. (2016). Life cycle assessment of producing maize, grass-clover, ryegrass, and winter wheat straw for biorefinery. Journal of Cleaner Production, 112, 3793–3804.

[70] López-Rodríguez, M., et al. (2024). Environmental life cycle assessment of silage maize in relation to regenerative agriculture. Sustainability, 16(2), 481.

[71] Ferreira, A. R., & Silva, J. P. (2021). Production and economic indicators of corn silage production. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, 25(4), 256–263.

[72] Thomas, D. T., et al. (2021). Economic returns from cereal and cereal/vetch forage crops grown as fodder conservation options for beef and sheepmeat production. Agriculture, 11(7), 664.