

التكامل الفينولوجي والفسولوجي في أنظمة تحميل الذرة الصفراء والبقول السوداني وأثره على الانتاجية

إبراهيم الفندي¹، أ.د. محمد خير عثمان²، د. أحمد العلي الخلف³

¹ طالب ماجستير، قسم المحاصيل الحقلية، كلية الهندسة الزراعية، جامعة الفرات، دير الزور، سورية. ibrahemalfandi2@gmail.com
² أستاذ دكتور، قسم المحاصيل الحقلية، كلية الهندسة الزراعية، جامعة الفرات، دير الزور، سورية.
³ باحث في الهيئة العامة للبحوث العلمية الزراعية، مركز البحوث العلمية الزراعية بالرقعة، سورية.

الملخص

أجريت تجربة حقلية في مركز البحوث العلمية الزراعية بالرقعة/ناحية السبخة/ خلال الموسم الصيفي 2024 لدراسة تأثير أنظمة تحميل الذرة الصفراء والبقول السوداني على بعض الصفات الفينولوجية والفسولوجية والانتاجية، وتحديد النظام الأكثر توافقاً وإنتاجية. نُفذ البحث بزراعة تسع معاملات شملت نسباً مختلفة من خطوط المزرعة بالمحصولين كزراعة تحميلية إضافة إلى الزراعة المنفردة، باستخدام التصميم العملي وبتوزيع القطاعات العشوائية الكاملة بثلاثة مكررات. أظهرت النتائج تكاملاً زمنياً واضحاً، حيث تراوح عدد الأيام حتى الإزهار بين 58-62 يوماً في الذرة و44-47 يوماً في البقول السوداني، كما عزز التكامل المورفولوجي بين ارتفاع الذرة (175-206 سم) والافقي للبقول السوداني (60-66 سم) من كفاءة استغلال الضوء بلغت قيم دليل المسطح الورقي (5.0-6.0) في الذرة و2.5-5.6 في البقول السوداني)، تراوحت الغلة الحبية للذرة بين 3.5-4.1 طن/هكتار والغلة البذرية للبقول السوداني بين 2.4-3.0 طن/هكتار. سجلت بعض المعاملات قيماً مرتفعة لمؤشر مكافئ الأرض ($LER \approx 2.0$)، ومؤشر الإنتاجية الكلية (SPI) 11.5 (طن/هكتار مكافئ ذرة، إضافة إلى ارتفاع كفاءة استخدام الموارد (RUE) إلى 0.39 غ/ميجا جول في الذرة و0.32 غ/ميجا جول في البقول السوداني.

الكلمات المفتاحية: الزراعة التحميلية، الذرة الصفراء، البقول السوداني، الكفاءة الإنتاجية.

ورد للنشر بتاريخ: 2026 / 1 / 12

قبل للنشر بتاريخ: 2026 / 5 / 18



Phonological and physiological integration in maize-peanut intercropping systems and its impact on productivity

Eng. Ibrahim Al-Fandi¹, D.Mohammad Khair Othman², and D.Ahmad A. Elali Elkhalf³

¹Master's student, Field Crop Department, Faculty of Agricultural Engineering, AL-Furat University, Syria.

²Professor, Field Crop Department, Faculty of Agricultural Engineering, AL-Furat University, Syria.

³Researcher, Raqqa Research Center, General Commission for Scientific Agricultural Research.

dr.ahmadelkhalf@gmail.com

(Corresponding author: Ibrahim Al-Fandi.Tel: 0958002396

E-Mail: ibrahemalfandi2@gmail.com).

Abstract

A field experiment was conducted at the Agricultural Scientific Research Center in Raqqa/al-Sabkha/ during the 2024 summer season to investigate the impact of maize-peanut intercropping systems on selected phonological, physiological, and productivity, and to identify the most compatible and productive system. The experiment include nine treatments representing different ratios of rows planted with the two crops as intercropping systems, in addition to sole cropping, using a randomized complete block design with three replications. The results showed clear temporal complementarity, as the number of days to flowering ranged between 58–62 days for maize and 44–47 days for peanut. Morphological complementarity between maize height (175–206 cm) and the horizontal growth of peanut (60–66 cm) enhanced light-use efficiency, with leaf area index values of 5.0–6.0 in maize and 2.5–5.6 in peanut. Grain yield varied between 3.5–4.1 t/ha in maize and 2.4–3.0 t/ha in peanut. Several treatments recorded high land equivalent ratio values ($LER \approx 2.0$), indicating doubled productivity compared with sole cropping. The system productivity index (SPI) exceeded 11.5 t/ha maize-equivalent, while resource use efficiency (RUE) reached 0.39 g/MJ in maize and 0.32 g/MJ in peanut.

Keywords: intercropping, maize, peanut, productivity.

Received: 12 / 1 /2026

Accepted: 18 / 5 /2026



© 2026 Author(s). This article is licensed under CC BY-NC-SA 4.0 Open Access License.

المقدمة والدراسة المرجعية

تُعد أنظمة التحميل الزراعي من أهم الوسائل الحديثة لتحقيق التكثيف الزراعي في ظل محدودية الموارد الطبيعية والزيادة المستمرة في عدد السكان، حيث تهدف هذه الأنظمة إلى زيادة الإنتاجية في وحدة المساحة عبر الاستغلال الأمثل للموارد المتاحة من ضوء، ماء، وعناصر غذائية. ويُعتبر نظام تحميل الذرة الصفراء (*Zea mays L.*) مع الفول السوداني (*Arachis hypogaea L.*) نموذجاً بارزاً لتحقيق هذه الأهداف، إذ يجمع بين محصول حبوب رئيسي مرتفع القدرة الإنتاجية ومحصول زيتي وبقولي قادر على تثبيت الآزوت الجوي في التربة وتحسين خصوبتها.

تمتاز الذرة الصفراء بكفاءتها العالية في تحويل الطاقة الشمسية إلى مادة جافة، مما يجعلها المحصول الرئيس في أنظمة التحميل، بينما يضيف الفول السوداني قيمة مزدوجة من خلال إثراء التربة بالأزوت وتوفير بذور زيتية غنية بالبروتين. وقد أثبتت الدراسات أن هذا النظام الزراعي يؤدي إلى تحسين الصفات الفسيولوجية والمورفولوجية لكلا المحصولين، مثل ارتفاع النبات، عدد الحبوب بالعرنوس في الذرة، وعدد القرون/نبات في الفول السوداني، إضافة إلى زيادة الغلة الكلية وارتفاع دليل المسطح الورقي (LAI) ونسبة مكافئ الأرض (LER)، بما يعكس كفاءة أعلى في استغلال الموارد مقارنة بالزراعة المنفردة (Santo *et al.*, 2023).

تتركز زراعة الذرة الصفراء والفول السوداني في عدة محافظات السورية ومنها الرقة، وتبرز أهمية دراسة أنظمة التحميل بين هذين المحصولين لتحديد أفضل الترتيبات الزراعية التي تحقق أعلى إنتاجية وتوافق بيئي، بما يسهم في تعزيز الأمن الغذائي المحلي وتحسين استدامة الإنتاج الزراعي. وقد أوضح (Metwally *et al.*, 2018) أن تحميل الذرة مع الفول السوداني في الأراضي الرملية بمصر أدى إلى زيادة الغلة الكلية وتحقيق قيم مرتفعة لنسبة مكافئ الأرض ($LER > 1.3$)، مما يعكس كفاءة عالية في استغلال وحدة المساحة، كما سجلت الذرة زيادة معنوية في عدد الحبوب بالعرنوس والغلة الحبية، بينما أظهر الفول السوداني تحسناً في عدد القرون/نبات عند زيادة نسب خطوطه. وقد وجد (Yu *et al.*, 2021) أن متوسط LER في أنظمة تحميل الذرة والفول السوداني بلغ 1.31، أي بزيادة إنتاجية قدرها 31% مقارنة بالزراعة المنفردة، مع تحسن في ارتفاع النبات ودليل المسطح الورقي للذرة، وزيادة في الغلة البذرية للفول السوداني عند تحسين توزيع الضوء بين السطور. بينت دراسة حديثة أجراها (Santo *et al.*, 2023) أن أنظمة التحميل المختلفة (1 ذرة: 2 فول، 2 ذرة: 1 فول) أعطت فروقاً معنوية في طول النبات والغلة البذرية للفول السوداني، وكانت جميع قيم LER أكبر من 1، مما يؤكد جدوى التحميل في تحسين الإنتاجية والاستدامة، مع تسجيل الذرة زيادات واضحة في الغلة الحبية وعدد الحبوب بالعرنوس.

يُستخدم مؤشر الإنتاجية الكلية (System Productivity Index, SPI) لتقييم كفاءة النظام الزراعي (سواء زراعة منفردة أو مختلطة) من خلال تحويل غلة المحصول الثانوي إلى مكافئ المحصول المرجعي (مثل الذرة المكافئة)، ثم جمعها مع غلة المحصول الأساسي. وتبرز أهميته في عكس القدرة الاقتصادية للنظام الزراعي في استغلال وحدة المساحة وبتيح مقارنة مباشرة بين الزراعة التجميعية والزراعة الأحادية. وعند دمج مع مدة

الدورة (SPI_day)، يُظهر كفاءة استغلال الزمن، وهو أمر بالغ الأهمية في البيئات شبه الجافة (Shao et al., 2025). يقيس مؤشر استخدام الموارد (Resource Use Efficiency, RUE) كفاءة تحويل الموارد (خاصة الإشعاع الشمسي الممتص APAR) إلى مادة جافة أو حبوب. وتتجلى أهمية المؤشر في توضيح الجانب الفسيولوجي من الأداء الزراعي ويربط بين الصفة المورفولوجية (ارتفاع النبات، LAI) والفينولوجية (موعد الإزهار) وبين الإنتاجية النهائية. ويُستخدم لتفسير لماذا بعض المعاملات تحقق غلة أعلى رغم تشابه الظروف البيئية (Xu et al., 2025).

وفي ظل الظروف التي يمر بها القطاع الزراعي في سورية نتيجة التحديات الاقتصادية والاجتماعية والبيئية، تراجعت المساحات المزروعة بالمحاصيل الاستراتيجية وازدادت الضغوط على الموارد الطبيعية المحدودة من مياه وأراضي صالحة للزراعة. وفي محافظة الرقة على وجه الخصوص، التي تُعد من مناطق إنتاج الذرة الصفراء والبقول السوداني، يواجه المزارعون مشكلة تناقص الإنتاجية بسبب ارتفاع تكاليف المدخلات الزراعية وتراجع خصوبة التربة وعدم كفاية الأسمدة الأزوتية والفوسفورية، إضافة للتوجه إلى المحافظة على الموارد المائية وعدم هدرها. في هذا السياق، يصبح التحميل الزراعي بين الذرة الصفراء والبقول السوداني خياراً عملياً لتحقيق عدة أهداف: زيادة الإنتاجية من وحدة المساحة، تحسين خصوبة التربة، رفع الكفاءة الاقتصادية، وتعزيز الأمن الغذائي المحلي عبر توفير الحبوب والبقول الزيتية والبقوليات في وقت واحد، بما يقلل من الاعتماد على الاستيراد. وعليه، فإن دراسة تأثير أنظمة تحميل الذرة الصفراء والبقول السوداني تُعد ضرورة علمية وعملية لتحديد أفضل الترتيبات الزراعية التي تحقق أعلى إنتاجية وتوافق بيئي، وتقديم حلول واقعية للمزارعين السوريين في مواجهة التحديات الراهنة، وتعزيز دور البحث العلمي في خدمة التنمية الزراعية المستدامة.

أهداف البحث

تحديد نظام التحميل بين الذرة الصفراء والبقول السوداني الأكثر توافقاً والأعلى إنتاجية.

مواد البحث وطرقه:

موقع البحث: أجريت التجربة في مركز البحوث العلمية الزراعية بالرقة /ناحية السبخة/، الواقعة على بعد 30 كم شرق مدينة الرقة على الضفة الجنوبية لنهر الفرات (خط الطول: $39^{\circ}15'33''$ ، خط العرض: $35^{\circ}49'48''$ ، الارتفاع عن سطح البحر: 234.4 م)، خلال الموسم الزراعي الصيفي لعام 2024، يتميز الموقع بالمناخ الحار والجاف، قد تتجاوز درجة الحرارة 40 درجة مئوية في فصل الصيف، معدل الهطول الامطار السنوي: 152.5 مم.

أظهرت نتائج التحليل ان التربة ذات قوام سلتني طيني ملائم لاحتفاظ الرطوبة ونمو الجذور مع محتوى عال من الكلس، وانخفاض في المادة العضوية والأزوت المعدني والفوسفور المتاح، مما يشير إلى خصوبة التربة محدودة، بينما البوتاسيوم متوسط، والملوحة منخفضة، مما يجعل التربة مناسبة لزراعة الذرة والبقول السوداني ضمن نظام التحميل (جدول 1).

جدول 1. بعض الصفات الكيميائية والفيزيائية لتربة الموقع.

التحليل الميكانيكي %			k	p	N-m	CaCO ₃	مادة عضوية	EC
طين	سلت	رمل	mg/kg			%		مليموز
28	52	20	180	10.0	12.9	16.1	1.6	1.0

المادة النباتية:

- الفول السوداني (صنف ساحل): صنف مفترش الساق، متوسط القرون (بذرتة متوسطة الحجم بلون وردي)، مردوده 4550 كغ/هكتار، يستخدم للمائدة.

- الذرة الصفراء (الصنف التركيبي غوطة-82): صنف متوسط التبرير (120-130 يوم). عرانيسه متوسطة الحجم وتحتوي على 14-16 صفاً من الحبوب. إنتاجيته 6-7 طن/هكتار وقد تصل أحياناً 7-9 طن/هكتار (Marah et al., 2025). تم الحصول على البذار من الهيئة العامة للبحوث العلمية الزراعية.

المعاملات: تم تنفيذ تسع معاملات وفق نظام التحميل والمفردة كما يلي:

الرقم	الرمز	المعاملة
1	A1:B1	1خط ذرة صفراء + 1 خط فول سوداني
2	A2:B1	2خط ذرة صفراء + 1 خط فول سوداني
3	A2:B2	2خط ذرة صفراء + 2 خط فول سوداني
4	A1:B2	1خط ذرة صفراء + 2 خط فول سوداني
5	A3:B1	3خط ذرة صفراء + 1 خط فول سوداني
6	A1:B3	1خط ذرة صفراء + 3 خط فول سوداني
7	A4:B4	4خط ذرة صفراء + 4 خط فول سوداني
8	A	زراعة مفردة ذرة صفراء
9	B	زراعة مفردة فول سوداني

العمليات الزراعية: تم حراثة الارض حراثة عميقة (25-30 سم) لقلب بقايا المحصول السابق، ثم حرثت سطحياً ولمرتين لتكسير الكدر والقضاء على الأعشاب وتلت ذلك تعميم جيد للتربة، ثم تم تقسيم الارض الى قطع تجريبية مكونة من 8 خطوط (المسافة بين الخطوط 70سم وطول الخط 3م والمسافة بين النباتات 25سم على نفس الخط) وبمساحة 16.8م². وزرع الفول السوداني قبل الذرة الصفراء بـ 15 يوم، بمعدل بذار 60 كغ بذور/هكتار للفول السوداني و30 كغ/هكتار للذرة الصفراء ووضعت بذرتين في كل جورة ثم تم ترقيع الأماكن الغائبة والتفريد حسب الحاجة خلال اسبوعين بعد الإنبات. أضيف السماد الأزوتي بمعدل 200 كغ/هـ يوريا 46%، نصفه عند الزراعة والنصف الآخر قبل مرحلة الإزهار بسبب عدم تلقيح البذور بكتيرياً. والفوسفاتي

بمعدل (170) كغ/هـ على شكل سوبر فوسفات 46%، قبل الزراعة. تم ري التجربة بطريقة الراحة حسب الحاجة بمعدل رية كل 7-10 أيام، وأجري العزيق اليدوي ثلاث مرات، تم الحصاد يدويا عند الوصول الى مرحلة النضج والتي تمثلت باصفرار الأوراق السفلية وتحول لون القرون إلى البني وذبول السيقان للبقول السوداني وتتحول أغلفة عرنوس الذرة الصفراء إلى اللون الأصفر والأوراق مبتدئة من أسفل النبات وتظهر نفرة قاتمة أسفل الحبة في مكان توضعها على القولحة.

الصفات المدروسة: تم اخذ القراءات خلال فترة النمو الخضري، النضج وبعد الحصاد لمتوسط عشرة نباتات تم اختيارها بصورة عشوائية من السطور الوسطية في القطعة التجريبية.

أ-محصول الذرة الصفراء: عدد الأيام حتى الإزهار المذكر باليوم (عدد الأيام من الزراعة حتى تفتح التلث العلوي لـ 50% من النورات المذكرة)، ارتفاع النبات/سم (تم قياس ارتفاع النبات من سطح التربة حتى العقدة الحاملة للنورة المذكرة، الغلة الحبية (طن/هـ)، دليل المسطح الورقي LAI: هو حاصل قسمة مساحة أوراق النبات على مساحة الارض التي يشغلها النبات.

دليل المسطح الورقي = (أقصى طول للورقة × أقصى عرض × معامل التصحيح) حيث معامل التصحيح للذرة 0.75 / مساحة الارض التي يشغلها النبات.

ب-محصول البقول السوداني: عدد الأيام حتى الإزهار (عدد الأيام من الزراعة حتى إزهار 50% من النباتات)، طول النبات/سم (تم أخذ القياس من نقطة تماس النبات مع سطح التربة وحتى أعلى نقطة في النبات عند انتهاء عملية الإزهار)، الغلة البذرية (طن/هـ). نسبة مكافئ الارض وحسبت من المعادلة التالية اعتمادا على (Connolly et al., 2001):

$$LER = LERg + LERl$$

$$LERg = Ygi / Ygs$$

$$LERl = Yli / Yls$$

حيث Ygi : متوسط غلة المحصول النجيلي في الزراعة المختلطة. Yli : متوسط غلة المحصول البقولي في الزراعة المختلطة.

Ygs : متوسط غلة المحصول النجيلي في الزراعة المفردة. Yls : متوسط غلة المحصول البقولي في الزراعة المفردة.

-مؤشر الانتاجية الكلية (SPI): مقياس مركب يُستخدم لمقارنة الإنتاجية الكلية في أنظمة الزراعة التحميلية مقابل الزراعة المفردة. غالبًا يُعبر عنه كـ "غلة مكافئة" لمحصول مرجعي (مثل الذرة المكافئة)، (Shao et al., 2025; Li et al., 2017).

غلة الذرة المكافئة (Economic MEY)

$$MEY = Ym + Yp \cdot \frac{Pp}{Pm}$$

حيث Ym غلة الذرة (طن/هكتار)، و Yp غلة البقول السوداني (طن/هكتار)، و Pm ، Pp أسعار السوق (دولار/طن)، (Mekuanint, 2020; Patil et al., 2022)

الانتاجية الكلية اليومية:

$$SPI_{day} = \frac{MEY \cdot 1000}{D}$$

حيث D مدة النظام (أيام).

$$MEY = \text{غلة الذرة} + \text{غلة الفول} \times (650/250) = \text{غلة الذرة} + 2.6 \times \text{غلة الفول}$$

$$SPI_{day} = MEY \times 1000 / 120$$

مؤشر استخدام الموارد (RUE): يقيس كفاءة تحويل الموارد المحدودة (الإشعاع، الماء، المغذيات) إلى مادة جافة أو حبوب. الشكل الأكثر استخدامًا هو كفاءة استخدام الإشعاع (Xu et al., 2025).

كفاءة استخدام الإشعاع للحبوب:

$$RUE_g = \frac{Yg}{APAR}$$

حيث Yg غلة الحبوب (غ/م²) ، و APAR الإشعاع الممتص (MJ/m²).

- التحويلات والمعادلات:

$$\text{تحويل الغلة: } g/m^2 = t/ha \times 100$$

$$APAR = PAR \times (1 - e^{-(k \times LAI)}) \times \alpha = 1200 \times (1 - e^{-(0.6 \times LAI)}) \times 0.9 = 1080 \times (1 - e^{-(0.6 \times LAI)})$$

$$- RUE = \text{الغلة (g/m}^2\text{)} \div APAR$$

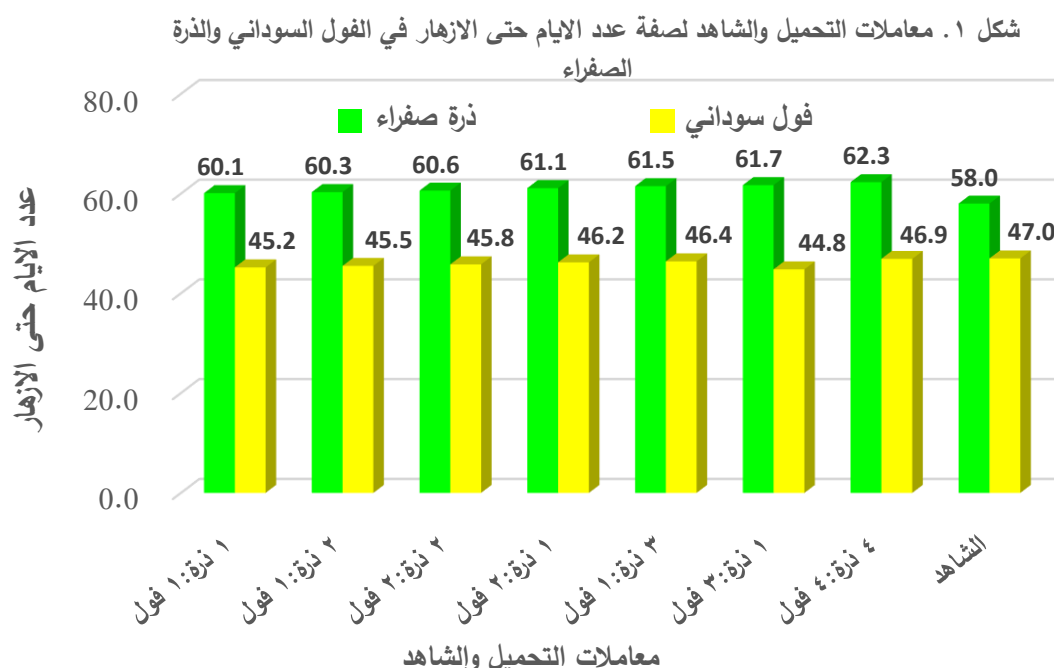
وقد تم حساب مؤشر الإنتاجية الكلية (SPI) بصيغة الغلة المكافئة للذرة باستخدام الأسعار المحلية (ذرة: 250 دولار/طن، فول سوداني: 650 دولار/طن؛ معامل التحويل = 2.6)، إضافةً إلى مؤشر استخدام الموارد (RUE) المعتمد على الإشعاع الموسمي المفترض PAR = 1200 MJ/m²، مع k = 0.6 و α = 0.9، ومدة الدورة 120 يومًا.

تصميم التجربة والتحليل الإحصائي: صممت التجربة كتجربة عاملية بتوزيع القطاعات العشوائية الكاملة (RCBD) بثلاثة مكررات، ليكون عدد القطع التجريبية 27 (9 معاملات × 3 مكررات). جمعت البيانات لكافة القراءات المدروسة ودونت باستخدام برنامج Excel، حُللت احصائياً باستخدام برنامج التحليل الإحصائي (SAS, 2004)، كما تم مقارنة المتوسطات باستخدام طريقة أقل فرق معنوي Least significant difference (L.S.D) عند مستوى معنوية 5% (Gomez and Gomez, 1984).

النتائج والمناقشة

أ- عدد الأيام حتى إزهار 50% من النباتات/ اليوم:

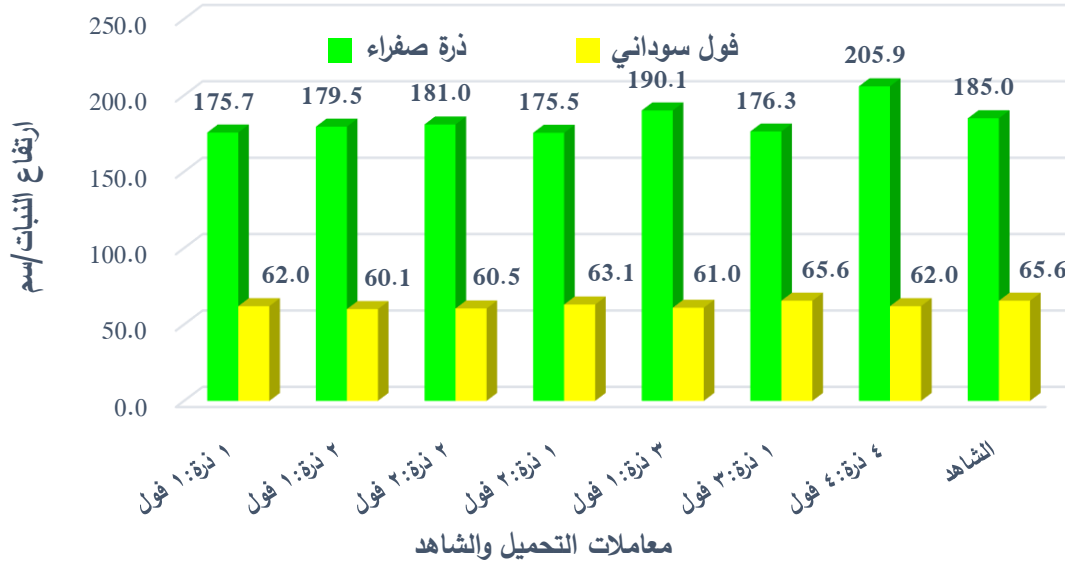
أظهرت النتائج أن عدد الأيام حتى الإزهار في الذرة الصفراء تراوح بين 58.0 و 62.3 يوماً، مع وجود فروق معنوية واضحة بين المعاملات، وقد أزهرت المعاملة (زراعة مفردة ذرة صفراء) بشكل مبكر عند 58 يوماً تلتها المعاملة (1 ذرة صفراء + 1 فول سوداني) والمعاملة (2 ذرة صفراء + 1 فول سوداني)، بينما كانت المعاملة (4 ذرة صفراء + 4 فول سوداني) الأكثر تأخرًا عند 62.3 يوماً. في حين تراوحت في الفول السوداني بين 44.8 و 47.0 يوماً حيث المعاملة (1 ذرة صفراء + 3 فول سوداني) أزهرت مبكرًا عند 44.8 يوماً، وقد تأخرت المعاملتان (4 ذرة صفراء + 4 فول سوداني، زراعة مفردة) بالأزهار مع متوسط عدد أيام 46.9 و 47 يوماً، على التوالي (شكل 1). هذا التبكير في الإزهار يمنح الفول السوداني ميزة في الزراعة التحميلية مع الذرة، حيث يقلل من التنافس على الموارد في المراحل الحرجة. ان التباين الطفيف بين المعاملات يشير إلى استقرار نسبي في هذه الصفة، مما يجعل الفول السوداني عنصرًا متوازنًا في أنظمة الزراعة المختلطة. إن هذا التفاوت في توقيت الإزهار يُعد عنصرًا أساسيًا في نجاح الزراعة التحميلية، إذ يتيح توزيعًا أفضل لاستهلاك الموارد (الماء، العناصر الغذائية، الضوء) عبر الزمن، ويقلل من حدة التنافس بين المحصولين. وأوضح (Guo et al., 2022) أن تعديل موعد الزراعة يمكن أن يحسن من الظروف الحرارية خلال مرحلة الإزهار، مما يزيد من عدد الحبوب ويعزز الغلة. ويعود السبب في ذلك إلى ما أشار إليه (Tonngang et al., 2018) مبينا أن التباين الفينولوجي بين الأصناف والمحاصيل المختلفة يُعد من أهم عوامل التكيف مع البيئات المتعددة ويعزز كفاءة النظام الزراعي كما تؤكد هذه الدراسة أن موعد الإزهار في البقوليات يرتبط مباشرة بقدرتها على تثبيت النيتروجين، وبالتالي يؤثر على إنتاجية المحصول وعلى المحصول الشريك في الزراعة التحميلية. من ناحية أخرى، فإن تبكير الفول السوداني في الإزهار 44.8 يوماً في المعاملة (1 ذرة صفراء + 3 فول سوداني) يمنحه ميزة في تثبيت النيتروجين مبكرًا، مما ينعكس إيجابًا على الذرة المزروعة معه، ويعزز إنتاجية النظام البيئي ككل. وقد أكد (Liu et al., 2025) أن استقرار التنبؤات الفينولوجية في الذرة يعتمد بدرجة كبيرة على درجة الحرارة، بينما في البقوليات يرتبط بموعد الإزهار بقدرتها على التكيف مع الظروف البيئية وتثبيت النيتروجين. بالتالي، فإن الفارق الزمني بين المحصولين (حوالي 14-15 يوماً) لا يمثل مجرد اختلاف في الصفة، بل هو آلية تكاملية تقلل من المنافسة على الماء والمواد الغذائية، وتزيد من كفاءة استخدام الأرض وبالتالي تعزيز كفاءة الزراعة التحميلية، والذي انعكس في ارتفاع قيمة نسبة مكافئ الأرض ($LER > 1.0$) في بعض المعاملات، مما يؤكد أن الجمع بين الذرة والفول السوداني وتحميل احدهما مع الآخر أكثر كفاءة من الزراعة الأحادية.



طول النبات / سم:

أظهرت النتائج ان طول النبات في الذرة الصفراء تراوح بين 175.5 و 205.9 سم للمعاملات المدروسة، وسجلت المعاملة (4 ذرة صفراء + 4 فول سوداني) سجلت أعلى طول (205.9 سم)، بينما المعاملة (1 ذرة صفراء + 2 فول سوداني) كانت الأدنى (175.5 سم). هذا التباين يعكس قدرة بعض المعاملات على النمو الخضري القوي، وهو ما يرتبط عادةً بزيادة المسطح الورقي وكفاءة التمثيل الضوئي. بينما تراوح طول النبات الفول السوداني بين 60.1 سم إلى 65.6 سم، مع فروق معنوية ($LSD = 0.22$). سجلتا المعاملتان (1 ذرة صفراء + 3 فول سوداني، وزراعة مفردة ذرة صفراء) أعلى طول (65.6 سم)، بينما المعاملة (2 ذرة صفراء + 1 فول سوداني) كانت الأدنى (60.1 سم) (شكل 2). طول الفول السوداني المعتدل يعكس طبيعة المحصول ك نبات قصير القامة، مما يجعله مناسباً للزراعة التجميعية مع محاصيل أطول مثل الذرة. متوسط ارتفاع الذرة 183.6 سم بالمقابل متوسط طول الفول السوداني 62.5 سم، مما يعكس اختلاف البنية المعمارية للنباتين ويؤكد تكاملهما في الزراعة التجميعية؛ فالذرة تستغل البعد الرأسى في الحقل بينما يستغل الفول السوداني البعد الأفقي، وهو ما يقلل من التنافس المباشر على الضوء ويزيد من كفاءة استخدام الأرض. إن التباين في عدد الأيام حتى الإزهار وارتفاع النبات بين الذرة والفول السوداني يمثل آلية تكاملية تعزز نجاح الزراعة التجميعية وتفسر ارتفاع قيمة نسبة مكافئ الأرض ($LER > 1.0$) في بعض المعاملات.

شكل ٢. معاملات التحميل والشاهد لصفة طول النبات/سم في الفول السوداني والذرة الصفراء



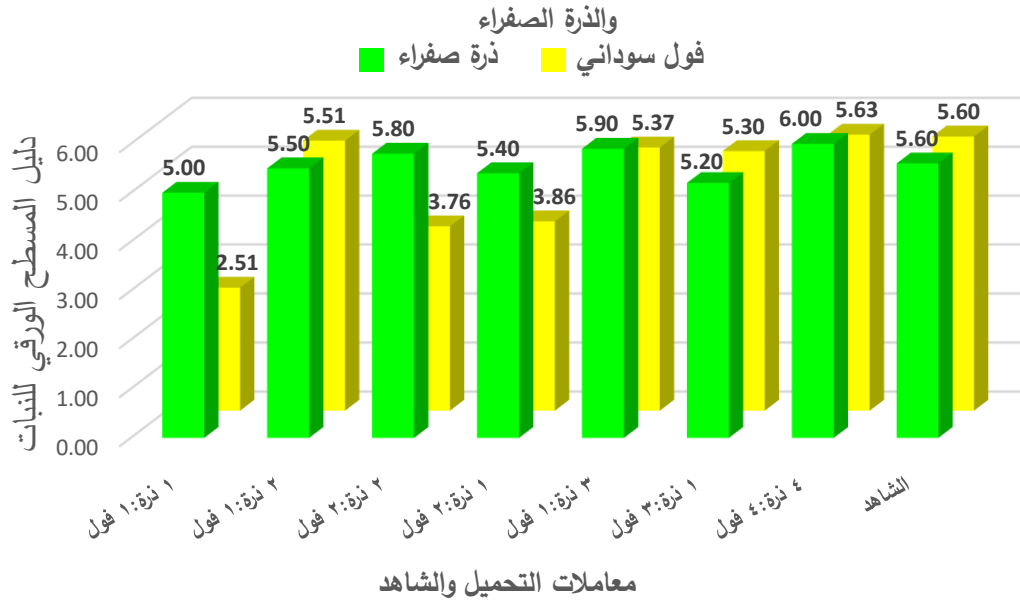
دليل المسطح الورقي للنبات (LAI):

يُعرّف دليل المسطح الورقي للنبات بأنه مساحة الأوراق الكلية لكل وحدة مساحة أرضية، وهو مؤشر مباشر على قدرة النبات على اعتراض الضوء وتحويله إلى مادة جافة. إن ارتفاع قيمته مرتبطة عادةً بزيادة كفاءة التمثيل الضوئي وبالتالي زيادة تراكم الكربوهيدرات، وزيادة الإنتاجية، بينما القيم المنخفضة قد تحد من النمو والغلة.

تراوحت قيم LAI في الذرة الصفراء بين 5.0 و6.0، وقد سجلت المعاملة (4 ذرة صفراء + 4 فول سوداني) أعلى قيمة (6.0)، مما يعكس قدرتها العالية على اعتراض الضوء، وهو ما ارتبط بارتفاع النبات (205.9 سم) وزيادة الغلة (3.9 طن/هكتار) (شكل 3). تؤكد الدراسات الحديثة أن زيادة LAI في الذرة ترتبط ارتباطاً وثيقاً بزيادة الغلة الحبيبية، خاصة عند وجود توازن بين النمو الخضري ومرحلة التلقيح والخصاب (Bakó *et al.*, 2025). ومع ذلك، فإن الزيادة المفرطة في LAI قد تؤدي إلى تظليل داخلي للأوراق السفلية، مما يقلل من كفاءتها الضوئية ويزيد من استهلاك الكربوهيدرات دون زيادة مقابلة في الإنتاجية. تراوحت قيم LAI في الفول السوداني بين 2.51 و5.60، وهو نطاق أقل من الذرة، ويعكس طبيعة الفول السوداني كنبات قصير القامة. وقد سجلت المعاملات (4 ذرة صفراء + 4 فول سوداني، وزراعة مفردة ذرة صفراء) أعلى قيم (5.6)، مما ارتبط بزيادة الغلة البذرية (3.0 طن/هكتار). تشير الدراسات إلى أن زيادة LAI في الفول السوداني تعزز تكوين القرون والغلة البذرية، خاصة عند توفر ظروف بيئية ملائمة (Patel *et al.*, 2021). كما أن ارتفاع LAI في الفول السوداني لا يؤدي إلى تظليل مفرط نظراً لقصير النبات، بل يعكس كفاءة أعلى في استغلال الضوء الأفقي في الزراعة التجميعية. ان الفارق بين الذرة والفول السوداني في قيم LAI يعكس اختلافاً في البنية المورفولوجية: الذرة تستغل البعد الرأسي بينما الفول يستغل البعد الأفقي، هذا التكامل في

توزيع المسطح الورقي بين المحصولين يقلل من التنافس على الضوء ويزيد من كفاءة استخدام الأرض، وهو ما انعكس في ارتفاع قيمة نسبة مكافئ الأرض ($LER > 1.0$) في بعض المعاملات.

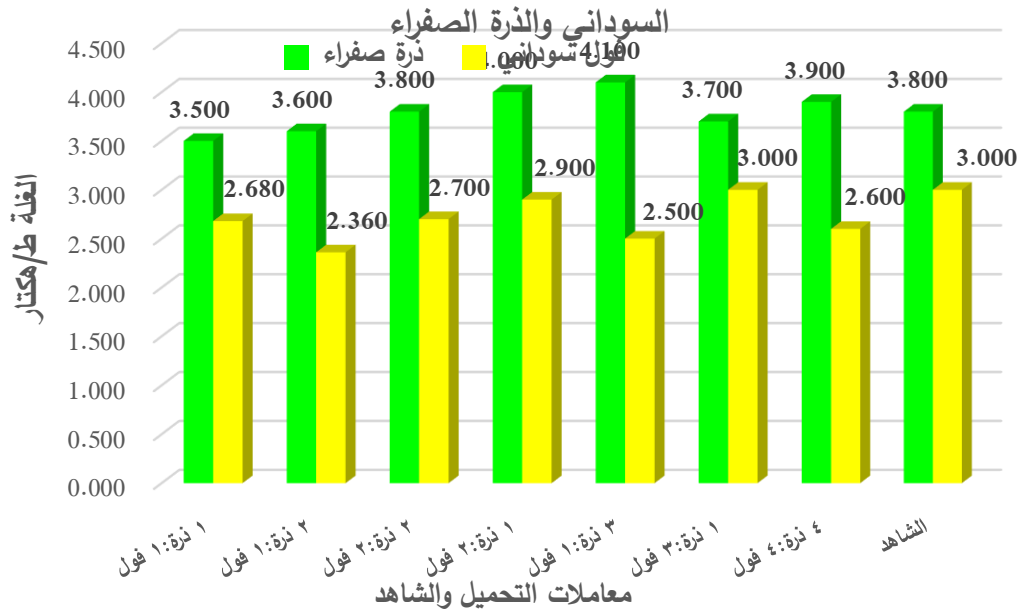
شكل ٣. معاملات التحميل والشاهد لصفة دليل المسطح الورقي في الفول السوداني



الغلة (ط/هكتار):

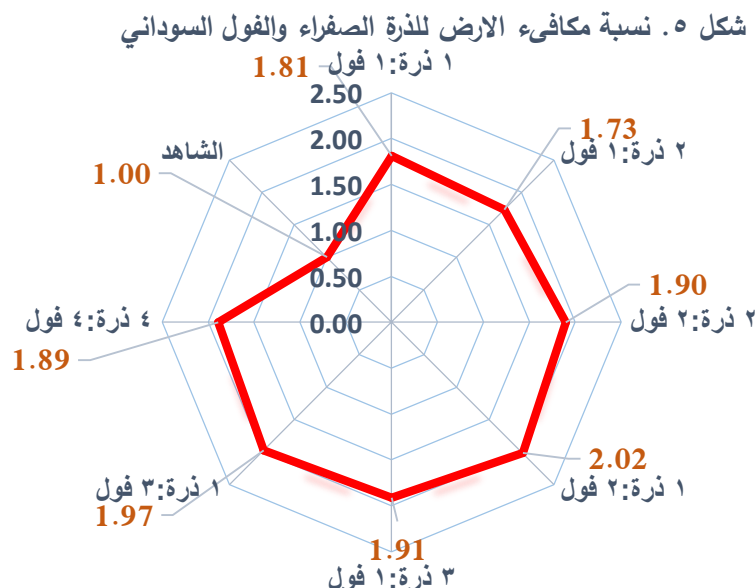
أظهرت النتائج أن الغلة البذرية في الفول السوداني تراوحت بين 2.360–3.000 طن/هكتار، بينما تراوحت الغلة الحبية في الذرة الصفراء بين 3.500–4.100 طن/هكتار (شكل 4)، وهو تباين يعكس اختلاف القدرة الإنتاجية بين المحصولين. هذا التباين ارتبط بشكل وثيق بالصفات الفينولوجية والمورفولوجية والفسولوجية الأخرى؛ إذ إن المعاملات التي أزهرت مبكرًا (44.8 يومًا في الفول و58 يومًا في الذرة) أظهرت أيضًا نموًا خضريًا جيدًا وارتفاعًا مناسبًا للنبات، مما انعكس على زيادة الغلة. كما أن ارتفاع النبات في الذرة (حتى 205 سم) والفول السوداني (حتى 66 سم) ارتبط إيجابيًا بزيادة دليل المسطح الورقي (LAI)، الذي تراوح بين 5.0–6.0 في الذرة و2.5–5.6 في الفول السوداني، وهو مؤشر مباشر على كفاءة التمثيل الضوئي. وقد أوضحت الدراسات أن زيادة LAI ترتبط بزيادة الغلة النهائية من خلال تعزيز اعتراض الضوء وتراكم الكربوهيدرات (Bakó et al., 2025؛ Patel et al., 2021). وقد أوضح (Zhang et al., 2023) أن ارتفاع النبات والمساحة الورقية في الذرة يرتبطان إيجابيًا بالإنتاجية عند وجود توازن بين النمو الخضري ومرحلة التلقيح والاحصاب. وبذلك فإن التكامل بين عدد الأيام حتى الإزهار، ارتفاع النبات، دليل المسطح الورقي يفسر بشكل مباشر التباين في الغلة البذرية والحبية، ويؤكد أن هذه الصفات تعمل معًا كآلية تكاملية تعزز نجاح الزراعة التحميلية وتفسر ارتفاع قيمة نسبة مكافئ الأرض ($LER > 1.0$) في بعض المعاملات.

شكل ٤. معاملات التحميل والشاهد لصفة الغلة (ط/هكتار) في الفول



نسبة مكافئ الأرض (LER):

تُعد نسبة مكافئ الأرض (LER) من أهم المؤشرات الكمية المستخدمة لتقييم كفاءة أنظمة الزراعة التحميلية مقارنة بالزراعة الفردية، إذ تعكس قدرة النظام على تحقيق إنتاجية كلية أعلى باستخدام وحدة المساحة نفسها. أظهرت النتائج أن قيم LER تراوحت بين 1.0–2.0 (شكل 5)، وهو ما يشير إلى أن بعض المعاملات حققت تفوقاً واضحاً على الزراعة الفردية، بينما كانت معاملات أخرى أقل كفاءة. هذا التباين في قيم LER يرتبط بشكل مباشر بالصفات الفينولوجية والمورفولوجية والفسيلوجية الأخرى، فالمعاملات التي أزهرت مبكراً في الفول السوداني (44.8 يوماً) والذرة (58 يوماً) أظهرت تكاملاً زمنياً في استهلاك الموارد، مما قلل من التنافس وزاد من الكفاءة. كما أن ارتفاع النبات في الذرة (حتى 205 سم) والطول في الفول السوداني (حتى 66 سم) وفر توزيعاً مورفولوجياً متكاملًا بين البعد الرأسى والأفقي، وهو ما انعكس في زيادة دليل المسطح الورقي (LAI)، وبالتالي تعزيز التمثيل الضوئي، الذي أدى إلى ارتفاع الغلة الحبية والبذرية وبالتالي زيادة قيمة LER. وقد أكدت الدراسات أن ارتفاع قيمة LER فوق 1.0 يُعد دليلاً على أن الزراعة التحميلية أكثر كفاءة من الزراعة الأحادية، حيث يحقق نظام الزراعة المختلطة إنتاجية كلية أعلى من مجموع إنتاجية المحصولين كل بشكل منفرد (Lithourgidis et al., 2011). كما أوضح (Willey, 1990) أن نجاح الزراعة التحميلية يعتمد على التكامل بين الصفات الفينولوجية والمعمارية للمحاصيل. وأشارت أبحاث حديثة إلى أن دمج بيانات LER مع مؤشرات مثل LAI وارتفاع النبات يوفر أدوات دقيقة لتقييم كفاءة الأنظمة الزراعية المستدامة (Yu et al., 2023). بذلك فإن نسبة مكافئ الأرض في هذه الدراسة لم تكن مجرد مؤشر حسابي، بل كانت انعكاساً مباشراً للتكامل بين الصفات الفينولوجية (عدد الأيام حتى الإزهار)، المورفولوجية (ارتفاع النبات)، الفسيلوجية (دليل المسطح الورقي)، الإنتاجية مما يفسر تفوق بعض المعاملات في تحقيق كفاءة أعلى للزراعة التحميلية.



مؤشر الإنتاجية الكلية بنظام الغلة المكافئة (SPE): يُعد مؤشر الإنتاجية الكلية أداة اقتصادية دقيقة لتقييم قدرة النظام الزراعي على تحقيق مردود أعلى من وحدة المساحة. أظهرت نتائج الدراسة أن مؤشر الإنتاجية الكلية (SPE) ومؤشر استخدام الموارد (RUE) شكلا محورًا أساسيًا في تفسير تفوق بعض المعاملات في النظام الزراعي البيئي مقارنة بالزراعة الأحادية. فقد سجلت المعاملات (1 ذرة صفراء + 2 فول سوداني، 1 ذرة صفراء + 3 فول سوداني، زراعة مفردة ذرة صفراء) أعلى قيم SPE ($\approx 11.5-11.6$ طن/هكتار مكافئ ذرة؛ 95-97 كغ/هكتار/يوم) (جدول 2)، وهو ما يعكس قدرة هذه المعاملات على تحقيق إنتاجية كلية مرتفعة نتيجة تكامل غلة الذرة والفاول السوداني. في الوقت نفسه، هذه النتائج تؤكد أن الزراعة التكميلية تحقق إنتاجية كلية أعلى من الزراعة المنفردة، وهو ما يتفق مع نتائج (Lithourgidis *et al.* 2011) التي أثبتت أن قيمة SPE المرتفعة تعكس تفوق الأنظمة التكميلية في استغلال الموارد.

جدول 2. غلة الذرة الصفراء والفاول السوداني والغلة المكافئة للذرة والغلة المكافئة للذرة اليومي

المعاملات	غلة الذرة الصفراء (طن/هكتار)	غلة الفول السوداني (طن/هكتار)	الغلة المكافئة للذرة MEY (طن/هكتار)	الغلة المكافئة للذرة اليومي SPE_{day} (كغ/هكتار/يوم)
A1:B1	3.500	2.700	10.52	87.67
A2:B1	3.600	2.400	9.84	82.00
A2:B2	3.800	2.700	10.82	90.17
A1:B2	4.000	2.900	11.54	96.17
A3:B1	4.100	2.500	10.60	88.33
A1:B3	3.700	3.000	11.50	95.83
A4:B4	3.900	2.600	10.66	88.83
الشاهد	3.800	3.000	11.60	96.67

مؤشر استخدام الموارد (RUE) المعتمد على الإشعاع:

يقيس مؤشر كفاءة استخدام الموارد (RUE) قدرة النظام على تحويل الموارد، خاصة الإشعاع الشمسي الممتص (APAR)، إلى مادة جافة أو حبوب. أظهرت الذرة قيم RUE أعلى ($\approx 0.34-0.39$ غ/ MJ)

بفضل فسيولوجيا C4 وكفاءة التمثيل الضوئي، بينما تراوحت قيم (RUE) في الفول السوداني بين (≈ -0.23) - 0.32 (غ/ MJ)، لكنها ارتفعت في المعاملات ذات دليل مسطح ورقي (LAI) متوازن وغلة بذور مرتفعة (مثل المعاملتين 1 ذرة صفراء + 3 فول سوداني و زراعة مفردة ذرة صفراء). هذا التكامل بين البنية الرأسية للذرة (ارتفاع النبات حتى 205 سم، $LAI \approx 6.0$) والبنية الأفقية للفول السوداني (الطول ≈ 65 سم، LAI ≈ 5.6) أدى إلى زيادة اعتراض الضوء (APAR) وتحسين كفاءة تحويله إلى مادة جافة وغلة (جدول 3). من الناحية الفينولوجية، ساهم التباين الزمني في الإزهار بين المحصولين (≈ 58 يوماً للذرة مقابل ≈ 45 يوماً للفول) في تقليل المنافسة بينهما على الموارد، مما عزز قدرة نظام الزراعة المختلطة على تحقيق قيم مرتفعة لكل من SPI و RUE. كما أن ارتفاع قيمة نسبة مكافئ الأرض ($LER > 1.0$) في هذه المعاملات يؤكد أن التكامل بين الصفات الفينولوجية (موعد الإزهار)، المورفولوجية (ارتفاع النبات)، والفسولوجية (LAI دليل مساحة الاوراق، RUE)، والإنتاجية (الغلة، SPI) هو العامل الحاسم في نجاح الزراعة التكميلية. وبذلك فإن SPI يوضح الجانب الاقتصادي-الإنتاجي، بينما RUE يفسر الجانب الفسيولوجي-المورفولوجي، وعندما يرتفعان معاً فهذا يعني أن النظام الزراعي لا يحقق فقط إنتاجية كلية أعلى، بل يفعل ذلك بكفاءة عالية في استغلال الضوء والموارد، وهذا ما يتفق مع نتائج (Bakó et al., 2025 ; Guo et al., 2022) التي أكدت أن التكامل بين الصفات المختلفة هو أساس تفوق الأنظمة التكميلية المستدامة. كما أوضح (Xu et al., 2008) أن ارتفاع LAI يرتبط مباشرة بزيادة RUE والغلة النهائية. هذه النتائج تدعم اعتماد الزراعة التكميلية كخيار استراتيجي في البيئات شبه الجافة، حيث الموارد محدودة والهدف هو تحقيق إنتاجية كلية أعلى مع كفاءة في استخدام الضوء والماء.

جدول 3. دليل المسطح الورقي والإشعاع الشمسي الممتص وكفاءة استخدام الموارد للذرة الصفراء والبقول

السوداني

المعاملات	دليل المسطح الورقي للذرة الصفراء	الإشعاع الشمسي الممتص للذرة الصفراء (MJ/m ²)	كفاءة استخدام الموارد للذرة الصفراء (g/MJ)	دليل المسطح الورقي للبقول السوداني	الإشعاع الشمسي الممتص للبقول السوداني (MJ/m ²)	كفاءة استخدام الموارد للبقول السوداني (g/MJ)
A1:B1	5.0	1026.23	0.341	2.5	839.02	0.322
A2:B1	5.5	1041.76	0.345	5.5	1041.76	0.230
A2:B2	5.8	1048.28	0.363	3.8	969.84	0.279
A1:B2	5.4	1039.56	0.385	3.9	977.00	0.297
A3:B1	5.9	1049.57	0.391	5.4	1039.56	0.241
A1:B3	5.2	1032.48	0.358	5.3	1036.97	0.289
A4:B4	6.0	1051.52	0.371	5.6	1043.53	0.249
الشاهد	5.6	1043.53	0.364	5.6	1043.53	0.288

الاستنتاجات

- أ- حققت أنظمة الزراعة التكميلية بين الذرة الصفراء والبقول السوداني قيماً مرتفعة لمؤشر مكافئ الأرض (LER).
- ب- التباين الزمني في الإزهار بين المحصولين (≈ 58 يوماً للذرة مقابل ≈ 45 يوماً للبقول السوداني) وفر توزيعاً زمنياً مثاليًا لاستهلاك الموارد، بينما عزز اختلاف البنية المعمارية (ارتفاع الذرة حتى 205 سم مقابل طول البقول السوداني حتى 66 سم) التكامل الرأسى-الأفقى في استغلال الضوء والمساحة.
- ت- الكفاءة الفسيولوجية: ارتفاع قيم دليل المسطح الورقي (LAI) في الذرة (حتى 6.0) والبقول السوداني (حتى 5.6) ارتبط مباشرة بزيادة كفاءة التمثيل الضوئي، مما انعكس ذلك في ارتفاع مؤشر استخدام الموارد (RUE)، حيث بلغت قيم الذرة ≈ 0.39 MJ/غ والبقول السوداني ≈ 0.32 MJ/غ.
- ث- المردود الاقتصادي والإنتاجي: مؤشر الإنتاجية الكلية (SPI) أظهر تفوقاً واضحاً للزراعة التكميلية، مما يعكس قدرة نظام الزراعة المختلطة على تحقيق إنتاجية كلية مرتفعة ومستدامة مقارنة مع الزراعة المنفردة.
- ج- التكامل بين المؤشرات المدروسة: إن ارتفاع قيم LER، SPI، RUE معاً يؤكد أن الزراعة التكميلية بين الذرة الصفراء والبقول السوداني ليست مجرد إضافة كمية، بل هي نظام تكاملي يعزز كفاءة استخدام الموارد، ويرفع الإنتاجية، ويحقق استدامة زراعية واقتصادية في البيئات شبه الجافة مثل محافظة الرقة.

التوصيات

- أ- اعتماد الزراعة التحويلية كخيار استراتيجي بين الذرة الصفراء والبقول السوداني في البيئات شبه الجافة، نظرًا لقدرتها على مضاعفة الإنتاجية وتحسين كفاءة استخدام الموارد مقارنة بالزراعة المنفردة.
- ب- يُنصح بالتبكير بموعد زراعة البقول السوداني لتحقيق تكامل زمني مع الذرة، مما يقلل من التنافس على الموارد ويعزز تثبيت النيتروجين مبكرًا.
- ت- أظهرت المعاملات (1 ذرة:2 فول، و 1 ذرة:3 فول) تفوقًا في قيم SPI و LER، مما يستدعي التركيز على هذه النسب في الممارسات الزراعية العملية.

المراجع

- Bakó, K.; A. Nagy; G. Tóth; P. Kovács, 2025. **Advancements in Leaf Area Index Estimation for Maize Using Modeling and Remote Sensing Techniques: A Review.** *Agronomy*, (15)3, 519. DOI:10.3390/agronomy15030519 .
- Bakó, K.; A. Nagy; G. Tóth; P. Kovács, 2025. **Advancements in Leaf Area Index Estimation for Maize Using Modeling and Remote Sensing Techniques: A Review.** *Agronomy*, (15)3, 519. DOI:10.3390/agronomy15030519 .
- Connolly, J., Wayne, P., & Bazzaz, F. A. 2001. **Interspecific competition in plants: How well do current methods answer fundamental questions?** *The American Naturalist*, 157(2), 107–125. <https://doi.org/10.1086/318628>.
- Connolly, J., Wayne, P., & Bazzaz, F. A. 2001. **Interspecific competition in plants: How well do current methods answer fundamental questions?** *The American Naturalist*, 157(2), 107–125. <https://doi.org/10.1086/318628>
- Gomez, K. A. and A.A. Gomez. 1984. **Statistical Procedures for Agricultural Research**, 2nd Edition. IRRI (International Rice Research Institute).Wiley, New York, USA. pp:680.
- Gomez, K. A. and A.A. Gomez. 1984. **Statistical Procedures for Agricultural Research**, 2nd Edition. IRRI (International Rice Research Institute).Wiley, New York, USA. pp:680.
- Guo, Y.; J. Liu; Z. Wang; H. Li; X. Zhang, 2022. **Adjusting sowing date improves photosynthetic capacity and grain yield by optimizing temperature condition around flowering of summer maize.** *Frontiers in Plant Science*, (13), 934618. DOI:10.3389/fpls.2022.934618 .
- Guo, Y.; J. Liu; Z. Wang; H. Li; X. Zhang, 2022. **Adjusting sowing date improves photosynthetic capacity and grain yield by optimizing temperature condition around flowering of summer maize.** *Frontiers in Plant Science*, (13), 934618. DOI:10.3389/fpls.2022.934618 .

- Li, Y., Zhang, W., Ma, L., Huang, G., Oenema, O., & Zhang, F. 2017. **Effects of reduced nitrogen inputs on crop yield and nitrogen use efficiency in maize intercropping.** PLOS ONE, 12(9), e0184503. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0184503>.
- Li, Y., Zhang, W., Ma, L., Huang, G., Oenema, O., & Zhang, F. 2017. **Effects of reduced nitrogen inputs on crop yield and nitrogen use efficiency in maize intercropping.** PLOS ONE, 12(9), e0184503. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0184503>
- Lithourgidis, A.S.; C.A. Dordas; D.N. Damalas; C.A. Vlachostergios, 2011. **Annual intercrops: an alternative pathway for sustainable agriculture.** Australian Journal of Crop Science, (5)4, 396–410 .
- Lithourgidis, A.S.; C.A. Dordas; D.N. Damalas; C.A. Vlachostergios, 2011. **Annual intercrops: an alternative pathway for sustainable agriculture.** Australian Journal of Crop Science, (5)4, 396–410 .
- Liu, Y.; H. Zhang; L. Wang; J. Chen, 2025. **Stability of Maize Phenology Predictions by Using Calendar Days, Thermal Functions, and Photothermal Functions.** Agriculture, (15)19, 2020. DOI:10.3390/agriculture15192020 .
- Liu, Y.; H. Zhang; L. Wang; J. Chen, 2025. **Stability of Maize Phenology Predictions by Using Calendar Days, Thermal Functions, and Photothermal Functions.** Agriculture, (15)19, 2020. DOI:10.3390/agriculture15192020 .
- Marah, A., Mhanna, A., & Abbas, F. (2025). **Effect of the intercropping system (maize–peanut), mineral fertilization rate, and plant density on some productive characteristics of maize crop.** Series of Agricultural Sciences and Biotechnology, Homs University Journal, 47(6), 51–80.
- Mead, R.; Willey, R.W., 1980. The concept of a 'Land Equivalent Ratio' and advantages in yields from intercropping. Experimental Agriculture, (16)3, 217–228. DOI:10.1017/S0014479700010978 .
- Mead, R.; Willey, R.W., 1980. The concept of a 'Land Equivalent Ratio' and advantages in yields from intercropping. Experimental Agriculture, (16)3, 217–228. DOI:10.1017/S0014479700010978 .
- Mekuanint, T. 2020. **Competition indices and monetary advantage index of intercropping maize with legumes under supplementary irrigation in Northern Ethiopia.** Journal of Cereals and Oilseeds, 11(1), 30–36. <https://doi.org/10.5897/JCO2018.0182>
- Mekuanint, T. 2020. **Competition indices and monetary advantage index of intercropping maize with legumes under supplementary irrigation in Northern Ethiopia.** Journal of Cereals and Oilseeds, 11(1), 30–36. <https://doi.org/10.5897/JCO2018.0182>
- Metwally, A. A., Safina, S. A., & Hefny, Y. A. (2018). **Maximizing the land equivalent ratio and economic return by intercropping maize with peanut in sandy soils of Egypt.** Egyptian Journal of Crop Science, 40(1), 15–30.
- Patel, R.; S. Sharma; A. Singh; P. Kumar, 2021. **Growth and yield attributes of peanut under different agronomic practices.** Journal of Oilseed Research, (38)2, 95–102. DOI:10.25081/josr.2021.v38.i2.1234 .

- Patel, R.; S. Sharma; A. Singh; P. Kumar, 2021. **Growth and yield attributes of peanut under different agronomic practices.** Journal of Oilseed Research, (38)2, 95–102. DOI:10.25081/josr.2021.v38.i2.1234 .
- Patil, Y. G., Mevada, K. D., Vaghela, G. M., & Bedis, M. R. 2022. **Economics, equivalent yield and land equivalent ratio for maize with chickpea intercropping system under middle Gujarat condition.** The Pharma Innovation Journal, 11(10), 1887–1890 .
- Patil, Y. G., Mevada, K. D., Vaghela, G. M., & Bedis, M. R. 2022. **Economics, equivalent yield and land equivalent ratio for maize with chickpea intercropping system under middle Gujarat condition.** The Pharma Innovation Journal, 11(10), 1887–1890 .
- Santo, K.G.; F.B. Bugilla; A.A. Khalid; K. Atakora; M. Abdulai; D.N. Afreh; P.M. Norshie, 2023. **Performance of maize (*Zea mays* L.) and land equivalent ratio under maize-groundnut (*Arachis hypogea* L.) intercropping system.** Agricultural Sciences, (14), 1292–1320. <https://doi.org/10.4236/as.2023.149087> .
- Santo, K.G.; F.B. Bugilla; A.A. Khalid; K. Atakora; M. Abdulai; D.N. Afreh; P.M. Norshie, 2023. **Performance of maize (*Zea mays* L.) and land equivalent ratio under maize-groundnut (*Arachis hypogea* L.) intercropping system.** Agricultural Sciences, (14), 1292–1320. <https://doi.org/10.4236/as.2023.149087> .
- Shao, Z., Hu, S., Fan, C., Meng, Z., Yan, X., Ji, W., Zhang, Z., Ma, H., Nasar, J., & Gitari, H. (2025). **Optimizing row ratio configurations for enhanced productivity and resource-use efficiency in maize–alfalfa intercropping.** Plants, 14(24), 3846. <https://doi.org/10.3390/plants14243846> .
- Shao, Z., Hu, S., Fan, C., Meng, Z., Yan, X., Ji, W., Zhang, Z., Ma, H., Nasar, J., & Gitari, H. (2025). **Optimizing row ratio configurations for enhanced productivity and resource-use efficiency in maize–alfalfa intercropping.** Plants, 14(24), 3846. <https://doi.org/10.3390/plants14243846> .
- Tonnang, H.; J. Muthomi; S. Mutegi; P. Wainaina, 2018. **Predicting and mapping the phenological adaptation of tropical maize using multi-environment trials.** Plant Methods, (14), 108. DOI:10.1186/s13007-018-0375-7 .
- Tonnang, H.; J. Muthomi; S. Mutegi; P. Wainaina, 2018. **Predicting and mapping the phenological adaptation of tropical maize using multi-environment trials.** Plant Methods, (14), 108. DOI:10.1186/s13007-018-0375-7 .
- Wiley, R.W., 1990. **Resource use in intercropping systems.** Agricultural Water Management, (17)1–3, 215–231. DOI:10.1016/0378-3774(90)90069-B .
- Wiley, R.W., 1990. **Resource use in intercropping systems.** Agricultural Water Management, (17)1–3, 215–231. DOI:10.1016/0378-3774(90)90069-B .
- Xu, M., Yang, X., He, R., Zang, J., Xie, J., Lai, X., & Shen, Y. 2025. **Interspecific competition, ecological benefits, and productivity in maize–alfalfa strip intercropping systems on the Loess Plateau of China.** Journal of Agriculture and Food Research, 24, 102349. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2025.102349> .
- Xu, M., Yang, X., He, R., Zang, J., Xie, J., Lai, X., & Shen, Y. 2025. **Interspecific competition, ecological benefits, and productivity in maize–alfalfa strip**

- intercropping systems on the Loess Plateau of China.** Journal of Agriculture and Food Research, 24, 102349. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2025.102349>
- Xu, Z.; L. Zhang; W. van der Werf; J. Chen, 2008. **Intercropping maize and legumes improves light interception and resource use efficiency.** Field Crops Research, 105, 74–85 .
- Xu, Z.; L. Zhang; W. van der Werf; J. Chen, 2008. **Intercropping maize and legumes improves light interception and resource use efficiency.** Field Crops Research, 105, 74–85 .
- Yu, Y.; L. Zhang; W. van der Werf; D. Makowski, 2023. **Intercropping and land equivalent ratio: advances and applications in sustainable agriculture.** Agronomy, (13)2, 512. DOI:10.3390/agronomy13020512 .
- Yu, Y.; L. Zhang; W. van der Werf; D. Makowski, 2023. **Intercropping and land equivalent ratio: advances and applications in sustainable agriculture.** Agronomy, (13)2, 512. DOI:10.3390/agronomy13020512 .
- Yu, Y.; T.J. Stomph; D. Makowski; L. Zhang; W. van der Werf, 2021. **Maize/peanut intercropping increases land productivity: A meta-analysis.** European Journal of Agronomy, 122, 126–135 .
- Yu, Y.; T.J. Stomph; D. Makowski; L. Zhang; W. van der Werf, 2021. **Maize/peanut intercropping increases land productivity: A meta-analysis.** European Journal of Agronomy, 122, 126–135 .
- Zhang, X.; Y. Li; Q. Zhou; H. Wang, 2023. **Genome-wide association studies revealed genetic loci of pod-related traits in peanut.** Agronomy, (13)7, 1863. DOI:10.3390/agronomy13071863
- Zhang, X.; Y. Li; Q. Zhou; H. Wang, 2023. **Genome-wide association studies revealed genetic loci of pod-related traits in peanut.** Agronomy, (13)7, 1863. DOI:10.3390/agronomy13071863.