

تقييم الأداء الفينولوجي والإنتاجي وكفاءة استخدام الموارد في نظم التحميل المحصولي بين الذرة الصفراء والفلول السوداني

إبراهيم الفندي^{1*} و أحمد العلي الخلف² و محمد خير عثمان¹



¹ كلية الهندسة الزراعية، جامعة الفرات، دير الزور، سورية.

² الهيئة العامة للبحوث العلمية الزراعية، مركز البحوث العلمية الزراعية بالرقعة، سورية.

(* للمراسلة: ابراهيم الفندي، البريد الإلكتروني: ibrahemalfandi2@gmail.com الهاتف: 0958002396)

تاريخ القبول: 2026 / 6 / 2

تاريخ الاستلام: 2026/1 / 25

الملخص

نفذ هذا البحث في ناحية السبخة بمحافظة الرقة خلال عام 2025 بهدف تقييم الأداء الفينولوجي والإنتاجي لأنظمة تحميل الذرة الصفراء والفلول السوداني، وتحليل كفاءة استخدام الموارد من خلال مجموعة من الصفات المدروسة: عدد الأيام حتى الإزهار، وزن الألف حبة والغلة الحبية للذرة ووزن الألف بذرة والغلة البذرية للفلول السوداني، الغلة البيولوجية، معامل الحصاد، ومؤشرات الكفاءة الإنتاجية: الانتاجية الكلية (SPI) وغلة الذرة المكافئة (MEY) وكفاءة استخدام الاشعاع للحبوب (RUE). نُفذت التجربة وفق تصميم القطاعات العشوائية الكاملة بثلاث مكررات، وشملت سبعة أنظمة تحميل إضافة إلى الزراعة المنفردة. أظهرت النتائج تفوقاً واضحاً لأنظمة التحميل في معظم الصفات المدروسة. فقد تراوح متوسط عدد الأيام حتى الإزهار بين 63 و 66 يوماً للذرة الصفراء، وبين 75 و 577 يوماً للفلول السوداني، وسجلت معاملات التحميل تفوقاً في وزن الألف حبة، إذ تراوحت قيمها للذرة بين 270 و 300 غ، ووزن الألف بذرة للفلول السوداني بين 846.7 و 1103.3 غ. وقد بلغت الغلة الحبية ذروتها في النظام (3 خط ذرة + 1 خط فول) الذي حقق أعلى غلة للذرة (5.167 طن/هكتار)، بينما سجل النظام (4 خط ذرة + 4 خط فول) أعلى غلة للفلول السوداني (2.833 طن/هكتار). كما أظهرت الأنظمة المتفوقة ارتفاعاً في الغلة البيولوجية ومعامل الحصاد، مما يعكس توازناً بين النمو الخضري والإنتاج الاقتصادي. وقد سجل النظام (3 خط ذرة + 1 خط فول) أعلى SPI (2.243 طن/هكتار) و (1.03 g MJ⁻¹) RUE، بينما حقق النظام A4:B4 أعلى MEY (12.27 طن/هكتار)، مما يؤكد تفوقه في الأداء الكلي. تُظهر هذه النتائج أن أنظمة التحميل، خصوصاً (3 خط ذرة + 1 خط فول) و (4 خط ذرة + 4 خط فول)، تمتلك أعلى أداء في الصفات المدروسة، وتشكل استراتيجية فعالة لزيادة الإنتاجية وتحسين كفاءة استخدام الموارد في البيئات الجافة وشبه الجافة.

الكلمات المفتاحية: نظام الزراعة التحميلية، ذرة صفراء، فول سوداني، مؤشرات الكفاءة الإنتاجية.

المقدمة:

تعدّ الذرة الصفراء (*Zea mays* L.) من أهم محاصيل الحبوب الاستراتيجية عالمياً نظراً لدورها المحوري في الأمن الغذائي والصناعات العلفية والغذائية، إضافة إلى استخدامها في إنتاج الإيثانول الحيوي. وتمتاز الذرة بقدرتها العالية على التكيف البيئي، مما جعلها من أكثر المحاصيل انتشاراً في البيئات الجافة وشبه الجافة (Akbar et al., 2008). ويعد جنوب المكسيك وأمريكا الوسطى الموطن الأصلي للذرة الصفراء (Galinat, 1988)، إلا أن التطور الوراثي وبرامج التربية الحديثة أسهمت في رفع

إنتاجيتها بشكل كبير خلال العقود الأخيرة. أما الفول السوداني (*Arachis hypogaea* L.) فهو من المحاصيل البقولية الزيتية ذات القيمة الاقتصادية والغذائية العالية، ويُستخدم في إنتاج الزيوت النباتية وصناعة الأغذية والأعلاف، إضافة إلى دوره في تحسين خصوبة التربة عبر تثبيت الآزوت الجوي. وقد شهدت زراعته توسعاً ملحوظاً في المناطق الجافة نتيجة تحمله النسبي للإجهادات البيئية (Wabinga *et al.*, 2014).

في سورية، بلغت المساحة المزروعة بالذرة الصفراء في سورية 91835 هكتار عام 2022، أنتجت 535715 طن وبمتوسط مردود قدره 5833 كغ/هـ، بينما بلغت مساحة الفول السوداني في سورية 6494 هكتار، أنتجت 19008 طن بمتوسط مردودية 2927 كغ/هكتار (المجموعة الإحصائية الزراعية، 2022). وتُظهر هذه الأرقام أهمية هذين المحصولين في دعم الأمن الغذائي والعلفي، خاصة في ظل التغيرات المناخية وتقلص المساحات الزراعية.

يمثل نظام الزراعة التجميعية (Intercropping) أحد أهم أنظمة التكثيف الزراعي المستدام، ويُعدّ من أكثر الممارسات فعالية في البيئات الجافة وشبه الجافة، حيث يساهم في تحسين كفاءة استخدام الإشعاع الشمسي والماء والعناصر الغذائية، ويزيد من الإنتاجية الكلية لوحدة المساحة (Postma and Lynch, 2012). وقد أكدت عدة دراسات أن أنظمة التجميع بين الذرة والبقوليات تُعدّ من أكثر الأنظمة كفاءة في تحسين الإنتاجية، خاصة في ظل محدودية الموارد (Wang *et al.*, 2023; Sharma *et al.*, 2022).

وأظهرت دراسات عالمية أن تجميع الذرة مع الفول السوداني يؤدي إلى زيادة معنوية في الغلة الكلية لوحدة المساحة مقارنة بالزراعة المنفردة (Yu *et al.*, 2021; Santo *et al.*, 2023)، وزيادة كفاءة استخدام الماء بنسبة قد تصل إلى 25% (Hussain *et al.*, 2023)، وتعزيز تثبيت الآزوت الحيوي وتحسين خصوبة التربة (Khan *et al.*, 2024)، ورفع مؤشر مكافئ الأرض (Land Equivalent Ratio (LER إلى قيم تتراوح بين 1.2 – 1.6 في معظم الدراسات (Zhou *et al.*, 2023). كما أشارت دراسات أجراها الباحثون (Ahmed *et al.*, 2024) و (Xu *et al.*, 2024) إلى أن أنظمة التجميع بين الذرة والبقوليات تُعدّ من أكثر الأنظمة قدرة على التكيف مع التغيرات المناخية، نظراً لقدرتها على تقليل الإجهاد الحراري وتحسين كفاءة استخدام الإشعاع الشمسي. وتكتسب دراسة أنظمة التجميع أهمية خاصة في سورية، ولا سيما في محافظة الرقة التي تتميز بظروف مناخية حارة وجافة وتربة ذات خصوبة محدودة، مما يجعل تحسين كفاءة استخدام الموارد ضرورة ملحة. كما أن التحديات المرتبطة بالأمن الغذائي وارتفاع تكاليف الإنتاج تفرض الحاجة إلى اعتماد أنظمة زراعية أكثر استدامة وقدرة على تحقيق إنتاجية عالية في وحدة المساحة.

وقد أوضح (Metwally *et al.*, 2018) أن تجميع الذرة مع الفول السوداني في الأراضي الرملية بمصر أدى إلى زيادة الغلة الكلية وتحقيق قيم مرتفعة لنسبة مكافئ الأرض ($LER > 1.3$)، ما 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 صفوفه. وقد وجد (Yu *et al.*, 2021) أن متوسط LER في أنظمة تجميع الذرة والفول السوداني بلغ 1.31، أي بزيادة إنتاجية قدرها 31% مقارنة بالزراعة المنفردة. بينت دراسة أجراها (Santo *et al.*, 2023) أن أنظمة التجميع المختلفة (1 ذرة: 2 فول، 2 ذرة: 1 فول) أعطت فروقاً معنوية في ارتفاع النبات والغلة البذرية للفول السوداني مقارنة بالزراعة المنفردة، وكانت جميع قيم LER أكبر من 1، مما يؤكد جدوى التجميع في تحسين الإنتاجية، مع تسجيل محصول الذرة زيادات واضحة في الغلة الحبية وعدد الحبوب بالعرنوس. تعاني سورية عموماً ومحافظة الرقة على وجه الخصوص من تراجع ملحوظ في الإنتاج الزراعي خلال السنوات الأخيرة نتيجة تقلص المساحات المزروعة، وتدهور خصوبة التربة، وارتفاع تكاليف مستلزمات الإنتاج، إضافة إلى الضغوط المتزايدة على الموارد المائية،

الأمر الذي جعل الأساليب الزراعية التقليدية غير قادرة على تحقيق مستويات إنتاجية أو كفاءة مقبولة. كما أسهم الاستخدام المفرط وغير المنظم للأسمدة المعدنية في الزراعة المروية في تفاقم المشكلات البيئية وانخفاض كفاءة التسميد، في حين ما تزال نظم الزراعة التحميلية غير مطبقة بالشكل الكافي رغم ما تمتلكه من إمكانيات في تحسين استغلال الموارد وتعزيز الإنتاجية. وفي هذا السياق، تبرز الحاجة إلى تقييم علمي دقيق لنظام التحويل بين الذرة الصفراء والبقول السوداني، لما يمكن أن يوفره من تحسين في كفاءة استخدام الضوء والماء والعناصر الغذائية، إضافة إلى دور البقول السوداني في تثبيت النيتروجين وتقليل الاعتماد على الأسمدة المعدنية، بما يقدم بيانات موثوقة تدعم المزارعين وصناع القرار في تطوير نظم زراعية أكثر كفاءة واستدامة وتعزيز الأمن الغذائي.

هدف البحث:

تقييم تأثير عدة أنظمة تحويل بين الذرة الصفراء والبقول السوداني وتحديد نظام التحويل الأكثر توافقاً والأعلى إنتاجية.

مواد وطرق البحث:

موقع البحث:

أجريت التجربة في ناحية السبخة بمحافظة الرقة، الواقع 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 عام 2025، يتميز الموقع بمناخ حار وجاف، حيث تتجاوز درجات الحرارة 40°C في فصل الصيف (الجدول 1)، معدل الهطول الأمطار السنوي 152.5 مم.

الجدول (1): متوسط درجات الحرارة الشهرية الصغرى والعظمى في محافظة الرقة، 2025م

الشهر	متوسط درجة الحرارة العظمى $^{\circ}\text{C}$	متوسط درجة الحرارة الصغرى $^{\circ}\text{C}$
آيار	32.1	18.7
حزيران	37.4	22.9
تموز	40.2	25.7
أب	39.6	25.3
أيلول	36.1	22.1
تشرين أول	29.0	17.0
تشرين ثاني	20.1	10.2
كانون أول	14.2	6.1

(meteobule, 2025)

أظهر تحليل التربة ان قوامها سلتى طيني مع محتوى عالي من الكلس، وملوحة منخفضة ومحتوى منخفض في الأزوت المعدني والفوسفور المتاح، ومحتوى متوسط في المادة العضوية ومحتوى جيد من البوتاسيوم جيد، (الجدول 2).

الجدول (2): الخصائص الفيزيائية والكيميائية لتربة الموقع.

EC	مادة عضوية	CaCO ₃	N-m	p	k	التحليل الميكانيكي %		
ملليموز	%					رمل	سلت	طين
1.1	1.8	15.3	11.7	10.5	175	20	48	32

المادة النباتية:

1. البقول السوداني (صنف ساحل): صنف مفترش الساق، القرون (بذرتان متوسطتا الحجم بلون وردي)، مردوده 4550 كغ/هكتار، يستخدم للمائدة.

2. الذرة الصفراء (غوبة-82): صنف تركيبي متوسط التبرير (120-130 يوم)، يحتوي العرنوس على 14-16 صفاً من الحبوب، بإنتاجيته 6-9 طن/هكتار (Arab et al., 2025). وتم الحصول على البذار من الهيئة العامة للبحوث العلمية الزراعية.

المعاملات المدروسة:

تم تنفيذ تسع معاملات تشمل انظمة تحميل مختلفة اضافة الى الزراعة المنفردة (الجدول 3).

الجدول (3): انظمة تحميل مختلفة بين الذرة الصفراء والفلول السوداني اضافة الى الزراعة المنفردة

الرقم	الرمز	المعاملة
1	A1:B1	الزراعة على خطوط بالتناوب (1خط ذرة صفراء + 1 خط فول سوداني)
2	A2:B1	الزراعة على خطوط بالتناوب (2خط ذرة صفراء + 1 خط فول سوداني)
3	A2:B2	الزراعة على خطوط بالتناوب (2خط ذرة صفراء + 2 خط فول سوداني)
4	A1:B2	الزراعة على خطوط بالتناوب (1خط ذرة صفراء + 2 خط فول سوداني)
5	A3:B1	الزراعة على خطوط بالتناوب (3خط ذرة صفراء + 1 خط فول سوداني)
6	A1:B3	الزراعة على خطوط بالتناوب (1خط ذرة صفراء + 3 خط فول سوداني)
7	A4:B4	الزراعة على خطوط بالتناوب (4خط ذرة صفراء + 4 خط فول سوداني)
8	A	زراعة منفردة ذرة صفراء
9	B	زراعة منفردة فول سوداني

العمليات الزراعية:

حرثت الارض حراثة عميقة (25-30 سم) لقلب بقايا المحصول السابق، ثم فلتحت سطحياً مرتين لتكسير الكدر والقضاء على الأعشاب ونعمت الارض بشكل جيد، ثم قسمت الارض الى قطع تجريبية مكونة من 8 خطوط (المسافة بين الخطوط 70سم وطول الخط 3م). وزرع الفول السوداني بتاريخ 2025/5/20 قبل الذرة الصفراء بـ 15 يوم، بمعدل بذار 60 كغ بذور/هكتار للفول السوداني و30 كغ/هكتار للذرة الصفراء. وتم ترقيع الأماكن الغائبة بوضع بذور جديدة ثم ري الأرض مباشرة. أضيف السماد الأزوتي بمعدل 200كغ/هـ (N)، نصفه عند الزراعة والنصف الآخر قبل مرحلة الإزهار. والفوسفاتي بمعدل (200) كغ/هـ (P2O5)/هـ على شكل سوبر فوسفات 46%، قبل الزراعة. تم ري التجربة بطريقة الراحة حسب الحاجة بمعدل رية كل 7-10أيام، واجري العزيق اليدوي ثلاث مرات، تم الحصاد يدوياً عند الوصول الى مرحلة النضج.

الصفات المدروسة:

تم أخذ القراءات خلال فترة النمو الخضري، النضج وبعد الحصاد لمتوسط عشرة نباتات تم اختيارها بطريقة عشوائية من السطور الوسطية في القطعة التجريبية.

1. محصول الذرة الصفراء: الإزهار المؤنث (عدد الأيام من الزراعة حتى ظهور الحرائر بطول 1-2سم لـ 50% من النورات المؤنثة)، وزن 1000 حبة (غرام)، الغلة البيولوجية (حب وقش) (طن/هـ)، الغلة الحبية (طن/هـ).

2. محصول الفول السوداني: عدد الأيام حتى الازهار (عدد الأيام من الزراعة حتى ازهار 50% من النباتات)، وزن الألف بذرة (غ)، الغلة البذرية (طن/ه)، الغلة البيولوجية (بذور وقش) (طن/ه)، معامل الحصاد: هو النسبة بين الوزن البيولوجي والوزن الجاف الكلي للنبات ويحسب وفق (Rezaul *et al.*, 2013) من خلال المعادلة التالية:

$$\text{معامل الحصاد (\%)} = \frac{\text{الغلة البذرية}}{\text{الغلة البيولوجية}} \times 100$$

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

- **غلة الذرة المكافئة (MEY)**

$$MEY = Y_m + Y_p \cdot \frac{P_p}{P_m}$$

حيث Y_m غلة الذرة (طن/هكتار)، و Y_p غلة الفول السوداني (طن/هكتار)، و P_m, P_p أسعار السوق (دولار/طن) (Mekuanint, 2022; Patil *et al.*, 2020)، الأسعار بالأسواق المحلية $P_m = 250$ دولار/طن، $P_p = 650$ دولار/طن، الانتاجية الكلية اليومية:

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

حيث D مدة النظام (أيام).

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

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

- **كفاءة استخدام الاشعاع للحبوب (RUE):**

$$RUE_g = \frac{Y_m + Y_p}{600}$$

حيث Y_g غلة الحبوب (غ/م²)، و $APAR$ الاشعاع الممتص (MJ/m²).

- التحويلات والمعادلات:

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

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

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

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 $f=0.5$, $PAR=0.48$, 2500 MJ/m^2

$$\text{Intercepted PAR} = 2500 \times 0.48 \times 0.5 = 600 \text{ MJ/m}^2$$

$$PAR = 600 \text{ MJ/m}^2, \text{ مع } k = 0.6 \text{ و } \alpha = 0.9, \text{ ومدة الدورة } 145 \text{ يوماً.}$$

تصميم التجربة والتحليل الإحصائي:

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

النتائج والمناقشة:

1. عدد الأيام حتى الإزهار:

أظهرت النتائج الواردة في الجدول (4) أن عدد الأيام حتى الإزهار في الذرة الصفراء تراوح بين 63 يوماً في الزراعة المنفردة (66 يوماً) في معاملة (4خط ذرة + 4 خط فول). أما في الفول السوداني، فقد تراوح عدد الأيام حتى الإزهار بين 75 يوماً في معاملة (1خط ذرة + 3 خط فول) و77.5 يوماً في الزراعة المنفردة. ويعكس هذا التباين بوضوح أثر التنافس الضوئي بين المحصولين، إذ إن زيادة عدد خطوط الذرة أو ارتفاعها النسبي يؤدي إلى خفض شدة الإضاءة الواصلة للفول السوداني. ورغم أن الذرة تأثرت بدرجة محدودة، فإن الفول السوداني أظهر حساسية أعلى للظل، وهو ما يفسر الفروق الواضحة بين المعاملات. ويُعد عدد الأيام حتى الإزهار مؤشراً مهماً للصفات الإنتاجية اللاحقة، إذ إن التأخير في الإزهار غالباً ما يرتبط بزيادة النمو الخضري على حساب امتلاء البذور، الأمر الذي ينعكس لاحقاً على وزن 1000 بذرة. وقد أشار (Tsubo and Walker, 2004) إلى أن التنافس الضوئي في نظم التحميل يغير التوازن بين النمو الخضري والثمري، مما يؤثر في الصفات الإنتاجية النهائية.

تشير بعض الدراسات إلى أن التفاعلات الجذرية بين المحصولين قد تلعب دوراً إضافياً في تفسير هذه النتائج. فقد أوضح (Wang et al., 2014) أن جذور الفول السوداني تفرز مجموعة من الأحماض العضوية والإنزيمات والمركبات الفينولية ذات التأثير الأليلوبي، والتي تسهم في تحسين امتصاص الذرة للعناصر الغذائية، ولا سيما الفوسفور، إضافةً إلى تحفيز بعض المسارات الفسيولوجية المرتبطة بالانتقال من النمو الخضري إلى التناسلي. ويُحتمل أن تسهم هذه التغيرات في تسريع دخول الذرة مرحلة الإزهار عند زراعتها تحملاً مع الفول السوداني، مما قد يفسر الانخفاض النسبي في عدد الأيام حتى الإزهار في بعض معاملات التحميل مقارنة بالزراعة المنفردة.

الجدول (4): تأثير أنظمة التحميل على عدد الأيام حتى الإزهار المؤنث للذرة الصفراء وعدد الأيام حتى الإزهار للفول السوداني، 2025م.

نظام التحميل	الاداء		الترتيب	
	ذرة صفراء	فول سوداني	ذرة صفراء	فول سوداني
A1:B1	64.2	76.1	3	3
A2:B1	64.1	75.5	2	2
A2:B2	64.2	76.2	4	4
A1:B2	65.0	76.9	5	6
A3:B1	65.7	76.5	6	5
A1:B3	65.9	75.0	7	1
A4:B4	66.0	77.0	8	7
A	63.0	-	1	-
B	-	77.5	-	8
L.S. D0.05	1.47	0.12		
CV%	2	1.4		

2. وزن 1000 حبة:

أظهرت قيم هذه الصفة تبايناً واضحاً بين أنظمة التسميل المختلفة لكل من الذرة الصفراء والفاول السوداني، مما يعكس تأثير التنافس والتكامل في هذه الأنظمة. فقد تراوح وزن 1000 حبة في الذرة الصفراء بين 270.0 غ في نظام الزراعة (2 خط ذرة + 1 خط فول) و300.0 غ في الزراعة المنفردة، بينما سجلت معاملة (3 خط ذرة + 1 خط فول) وزناً مرتفعاً بلغ 298.3 غ (الجدول 5). ويشير هذا الأداء إلى أن التوازن التنافسي في هذه المعاملة أتاح للذرة الاستفادة من النيتروجين المثبت بواسطة الفول السوداني، مما عزز امتلاء الحبوب دون أن يصل التنافس إلى مستوى يحد من النمو. كما أن ارتفاع وزن 1000 حبة في هذه المعاملة يتوافق مع تفوقها في الغلة الحبية، مما يعكس تكاملاً واضحاً بين مكونات الغلة.

أما الفول السوداني، فقد أظهر تبايناً أكبر في وزن 1000 بذرة، إذ تراوح وزنه بين 846.7 غ في (2 خط ذرة + 1 خط فول) و1103.3 غ في (3 خط ذرة + 1 خط فول)، وهو أعلى وزن مسجل بين جميع المعاملات. ويعكس هذا الارتفاع استفادته من التظليل المعتدل في بعض أنظمة التسميل، حيث يسهم انخفاض الإجهاد الحراري في تحسين امتلاء البذور وزيادة تراكم المادة الجافة. كما سجلت معاملة (4 خط ذرة + 4 خط فول) وزناً مرتفعاً (1051.7 غ) (الجدول 5)، مما يشير إلى أن الترتيب المكاني المتوازن يمكن أن يحقق ظروفاً بيئية ملائمة للمحصول البقولي حتى في الكثافات العالية.

ويرتبط وزن 1000 بذرة ارتباطاً وثيقاً بمرحلة الإزهار؛ إذ إن المعاملات التي شهدت تأخراً في الإزهار سجلت انخفاضاً في وزن البذور نتيجة زيادة النمو الخضري على حساب الامتلاء. ويُعد هذا المؤشر أحد أهم مكونات الغلة البذرية، حيث يؤثر مباشرة في الإنتاجية النهائية. وقد أكد (Bavec and Bavec, 2002) أن التنافس في الأنظمة المختلطة ينعكس مباشرة على امتلاء الحبوب وبالتالي على الغلة، وهو ما يتفق مع النتائج الحالية التي أظهرت أن المعاملات ذات التوازن التنافسي الأفضل سجلت أوزاناً أعلى للبذور.

الجدول (5): تأثير أنظمة التسميل على وزن الاف حبة للذرة الصفراء ووزن الاف بذرة للفول السوداني، 2025م.

الترتيب		الاداء		نظام التسميل
فول سوداني	ذرة صفراء	فول سوداني	ذرة صفراء	
5	7	1005.0	277.0	A1:B1
8	8	846.7	270.0	A2:B1
6	6	926.7	286.7	A2:B2
7	5	873.3	290.0	A1:B2
1	2	1103.3	298.3	A3:B1
4	3	1011.7	295.3	A1:B3
2	4	1051.7	294.0	A4:B4
-	1	-	300.0	A
3	-	1030.0	-	B
		21.56	73.26	L.S. D0.05
		2	9.32	CV%

3. الغلة (طن/هـ):

أظهرت نتائج الدراسة تأثيراً واضحاً لأنظمة التسميل في الغلة البذرية لكل من الذرة الصفراء والفول السوداني، حيث سجلت الذرة الصفراء أعلى غلة بذرية في معاملة (3 خط ذرة + 1 خط فول) بمتوسط 5.167 طن/هكتار، بينما كانت أقل غلة في الزراعة المنفردة

التي بلغت 3.800 طن/هكتار (الجدول 6). ويعكس هذا التفوق قدرة الذرة في نظم التحميل على الاستفادة من التكامل الحيوي مع الفول السوداني، خصوصاً تثبيت النيتروجين وتحسين البيئة الدقيقة حول الجذور، إضافة إلى تحسين اعتراض الضوء نتيجة التوزيع المكاني الأفضل للنباتات.

ورغم أن الزراعة المنفردة للذرة حققت أعلى وزن لـ 1000 حبة نتيجة انخفاض التنافس، فإن ذلك لم ينعكس على الغلة الكلية. ويُفسلا ذلك بأن وزن الحبة يمثل أحد مكونات الغلة، لكنه ليس المحدد الرئيسي لها؛ إذ تعتمد الغلة على عدد النباتات في وحدة المساحة، وعدد العرائس للنبات، وعدد الحبوب في العرنوس. وفي الزراعة المنفردة، أدى انخفاض الكثافة النباتية وانخفاض عدد العرائس والحبوب إلى غلة اجمالية أقل، رغم زيادة وزن الحبة. في المقابل، أسهم نظم التحميل في زيادة عدد العرائس والحبوب نتيجة تحسين التغذية النيتروجينية ورفع كفاءة استخدام الضوء، مما أدى إلى غلة حبيبة أعلى حتى عندما كان وزن الحبة أقل نسبياً.

أما الفول السوداني، فقد أظهر حساسية واضحة للتظليل، إذ تراوحت غلته البذرية بين 2.050 طن/هكتار في (1 خط ذرة + 1 خط فول) و3.000 طن/هكتار في الزراعة المنفردة. ويعكس هذا الانخفاض في الغلة تحت أنظمة التحميل تأثير التنافس على الضوء في الحد من تكوين القرون وانخفاض وزنها، وهو ما يتفق مع ما ذكره (Andrews and Kassam, 1976) حول تأثير المحاصيل البقولية سلباً عند زراعتها تحت محاصيل مرتفعة. ورغم ذلك، فقد سجلت معاملة (4 خط ذرة + 4 خط فول) غلة مرتفعة نسبياً (2.833 طن/هكتار) (الجدول 6)، مما يشير إلى أن الترتيب المكاني المتوازن قد يخفف من شدة التظليل حتى في الكثافات العالية. وتتفق هذه النتائج مع ما أشار إليه (Mead and Willey, 1980) بأن الغلة في نظم التحميل تعتمد على التوازن بين التكامل والتنافس، حيث يؤدي التكامل مثل تثبيت النيتروجين وتحسين بنية التربة إلى رفع كفاءة استخدام الموارد، بينما يحد التنافس من النمو فقط عند تجاوز مستويات معينة. كما تتوافق النتائج مع ما ذكره (Li et al., 2001; Willey, 1979) حول أهمية التوزيع الرأسى والأفقي للأوراق في تحديد كفاءة اعتراض الضوء في نظم التحميل، وهو ما ظهر بوضوح في المعاملات التي حسّنت من استفادة الذرة من الضوء دون زيادة التظليل على الفول السوداني إلى مستوى يحد من نموه.

الجدول (6): تأثير أنظمة التحميل على الغلة الحبيبة للذرة الصفراء والغلة البذرية للفول السوداني، 2025م.

نظام التحميل	الاداء		الترتيب	
	ذرة صفراء	فول سوداني	ذرة صفراء	فول سوداني
A1:B1	4.200	2.050	7	8
A2:B1	4.500	2.550	6	4
A2:B2	4.700	2.250	4	6
A1:B2	4.900	2.167	2	7
A3:B1	5.167	2.650	1	3
A1:B3	4.700	2.450	5	5
A4:B4	4.900	2.833	3	2
A	3.800	-	8	-
B	-	3.000		1
L.S. D0.05	0.692	0.12		
CV%	8.67	3		

4. الغلة البيولوجية (طن/ه):

بلغت الغلة البيولوجية للذرة الصفراء أعلى قيمة في نظام التحميل (3 خط ذرة + 1 خط فول) بمتوسط 7.100 طن/هكتار، بينما كانت أقل قيمة في الزراعة المنفردة بمتوسط 6.300 طن/هكتار (الجدول 7). ويشير ذلك إلى أن وجود الفول السوداني ساهم في تعزيز

النمو الخضري للذرة عبر تحسين خصوبة التربة. أما الفول السوداني فقد سجل أعلى غلة بيولوجية في (4 خط ذرة + 4 خط فول) بمتوسط 3.967 طن/هكتار، مما يعكس استجابة النبات للظل بزيادة النمو الخضري على حساب النمو الثمري. توضح الغلة البيولوجية العلاقة العكسية مع الغلة الحبية والبدنية في بعض المعاملات، خصوصاً في الفول السوداني، حيث أدى الظل إلى زيادة النمو الخضري دون زيادة موازية في الإنتاج البذري. وهذا التباين سيظهر بوضوح في معامل الحصاد الذي يعكس كفاءة تحويل المادة الجافة إلى بذور. وقد ذكر (Willey, 1979) أن زيادة النمو الخضري في الأنظمة المختلطة لا تعني بالضرورة زيادة في الغلة الاقتصادية.

الجدول (7): تأثير أنظمة التحميل على الغلة البيولوجية للذرة الصفراء والفول السوداني، 2025م.

الترتيب		الاداء		نظام التحميل
فول سوداني	ذرة صفراء	فول سوداني	ذرة صفراء	
8	7	3.050	6.400	A1:B1
4	5	3.550	6.600	A2:B1
7	2	3.067	6.900	A2:B2
6	4	3.233	6.700	A1:B2
3	1	3.817	7.100	A3:B1
5	6	3.500	6.500	A1:B3
2	3	3.967	6.800	A4:B4
-	8	-	6.300	A
1	-	4.267	-	B
		0.133	1.03	L.S. D0.05
		3	8.97	CV%

5. معامل الحصاد (%):

تراوح معامل الحصاد في الذرة الصفراء بين 0.62 في الزراعة المنفردة (A) و 0.73 في (1 خط ذرة + 2 خط فول)، مما يشير إلى أن التحميل حسن كفاءة تخصيص المادة الجافة نحو الحبوب في بعض المعاملات. أما الفول السوداني فقد تراوح معامل الحصاد بين 0.67 في (1 خط ذرة + 1 خط فول) و (1 خط ذرة + 2 خط فول) و 0.73 في (2 خط ذرة + 2 خط فول)، مما يعكس أن الظل المعتدل قد يكون مفيداً في تحسين كفاءة التمثيل الكربوني (الجدول 8).

الجدول (8): تأثير أنظمة التحميل على معامل الحصاد للذرة الصفراء والفول السوداني، 2025م.

الترتيب		الاداء		نظام التحميل
فول سوداني	ذرة صفراء	فول سوداني	ذرة صفراء	
7	5	0.67	0.69	A1:B1
2	6	0.72	0.68	A2:B1
1	7	0.73	0.68	A2:B2
8	1	0.67	0.73	A1:B2
6	4	0.69	0.70	A3:B1
5	2	0.70	0.71	A1:B3
3	3	0.71	0.71	A4:B4
-	8	-	0.62	A
4	-	0.70	-	B
		0.02	0.01	L.S. D0.05
		2	2	CV%

يمثل معامل الحصاد الخلاصة النهائية لتفاعل جميع الصفات السابقة؛ فالتأخير في الإزهار، وانخفاض وزن 1000 بذرة، وتغير الغلة البذرية والبيولوجية كلها عوامل تتجمع لتحديد كفاءة النبات في تحويل المادة الجافة إلى إنتاج اقتصادي. وقد أشار (Eskandari and Ghanbari, 2010) إلى أن معامل الحصاد يُعد المؤشر الأكثر حساسية للتغيرات البيئية والتنافسية في نظم التحميل.

6. مؤشر الإنتاجية الكلية بنظام الغلة المكافئة (SPI):

أظهرت النتائج في الجدول (9) أن أنظمة التحميل بين الذرة الصفراء وال فول السوداني حققت تفوقاً واضحاً على الزراعة المنفردة من حيث الإنتاجية والكفاءة الاقتصادية وكفاءة استخدام الموارد. وهو ما يعكس قدرة هذا النمط الزراعي على تحسين الأداء الإنتاجي في البيئات الجافة وشبه الجافة مثل محافظة الرقة. فقد سجلت المعاملتان (3 خط ذرة + 1 خط فول) و(4 خط ذرة + 4 خط فول) أعلى قيم لمؤشر الإنتاجية الكلية (SPI)، حيث بلغت 2.243 و 2.234 على التوالي، وهي قيم تشير إلى تحقيق ربح صافي في استخدام الأرض يزيد عن 120% مقارنة بالزراعة المنفردة. ويُعزى هذا التفوق إلى التكامل البنوي والفيولوجي بين المحصولين، إذ حققت الذرة في نظام (3 خط ذرة + 1 خط فول) غلة بلغت 5.167 طن/هكتار مقارنة بـ 3.8 طن/هكتار في الزراعة المنفردة، بينما سجل الفول السوداني في النظام نفسه 2.650 طن/هكتار. ويؤكد (Willey 1979) أن قيم SPI أو LER التي تتجاوز 1.0 تعكس كفاءة أعلى في استغلال الأرض نتيجة التكامل بين المحاصيل في استخدام الضوء والماء والعناصر الغذائية.

7. غلة الذرة المكافئة (MEY):

أظهرت غلة الذرة المكافئة تفوقاً اقتصادياً واضحاً للأنظمة (4 خط ذرة + 4 خط فول) و(3 خط ذرة + 1 خط فول)، حيث بلغت 12.27 و 12.06 طن ذرة مكافئة/هكتار على التوالي، مقارنة بـ 3.8 طن/هكتار في الذرة المنفردة (الجدول 9). ويُعزى هذا الارتفاع إلى القيمة السوقية المرتفعة للفول السوداني (650 دولار/طن) مقارنة بالذرة (250 دولار/طن)، مما يجعل مساهمة الفول في العائد الاقتصادي أكبر من مساهمته في الغلة الوزنية. وقد أشار (Agegnehu, et al., 2006) إلى أن MEY يمثل مؤشراً اقتصادياً حساساً يعكس القيمة السوقية للمحاصيل في نظم التحميل، ويُعد أكثر دقة من الغلة الوزنية وحدها في تقييم الجدوى الاقتصادية.

8. كفاءة استخدام الإشعاع (RUE):

سجلت الأنظمة (3 خط ذرة + 1 خط فول) و(4 خط ذرة + 4 خط فول) أعلى القيم، حيث بلغت (1.03 و 1.02 g MJ⁻¹) (الجدول 9)، وهي قيم مرتفعة نسبياً لمحاصيل صيفية في بيئة شبه جافة. ويُعزى ذلك إلى زيادة اعتراض الإشعاع نتيجة التدرج الطبقي للمجموع الخضري، حيث تستفيد الذرة من الإشعاع المباشر بينما يستفيد الفول السوداني من الإشعاع المنتشر، مما يؤدي إلى تحسين الكفاءة الكلية للنظام في تحويل الطاقة الشمسية إلى مادة جافة. وقد أكد (Monteith, 1977) أن النظم الزراعية متعددة الطبقات غالباً ما تُظهر كفاءة أعلى في استخدام الإشعاع مقارنة بالزراعة الأحادية، نتيجة زيادة المساحة الورقية الفعالة وتحسين توزيع الضوء داخل مظلة النباتات.

تُظهر النتائج أن أنظمة التحميل، وخاصة (3 خط ذرة + 1 خط فول) و(4 خط ذرة + 4 خط فول)، ليست فقط أكثر إنتاجية، بل أكثر كفاءة واستدامة، وقادرة على تحقيق عائد اقتصادي أعلى، مما يجعلها خياراً زراعياً واعداً في البيئات الجافة وشبه الجافة. وتؤكد هذه النتائج أهمية تبني نظم التحميل في محافظة الرقة والمناطق المشابهة، نظراً لقدرة هذه النظم على تحسين الإنتاجية، وتعظيم الاستفادة من

الموارد، وتعزيز الاستدامة الزراعية على المدى الطويل، وهو ما يتوافق مع ما ذكره (Lithourgidis *et al.*, 2011) حول دور نظم التحميل في تعزيز الاستدامة الزراعية وتحسين كفاءة استخدام الموارد.

الجدول (9): غلة الذرة الصفراء والبقول السوداني ومؤشر الانتاجية الكلية SPI وغلة الذرة المكافئة وكفاءة استخدام الإشعاع للمعاملات المدروسة.

المعاملات	غلة الذرة الصفراء (طن/هكتار)	غلة البقول السوداني (طن/هكتار)	مؤشر الانتاجية الكلية SPI	غلة الذرة المكافئة MEY (طن/هكتار)	RUE للبقول (g MJ ⁻¹)
A1:B1	4.200	2.050	1.789	9.53	0.82
A2:B1	4.500	2.550	2.034	11.13	0.93
A2:B2	4.700	2.250	1.987	10.55	0.91
A1:B2	4.900	2.167	2.012	10.53	0.93
A3:B1	5.167	2.650	2.243	12.06	1.03
A1:B3	4.700	2.450	2.054	11.07	0.94
A4:B4	4.900	2.833	2.234	12.27	1.02
A	3.800	-	-	3.80	0.50
B	-	3.000	-	7.80	0.40

ملاحظة: (g MJ⁻¹) = غرام مادة جافة لكل ميغا جول اشعاع معترض

الاستنتاجات:

1. أظهرت نتائج الدراسة أن أنظمة تحميل الذرة الصفراء والبقول السوداني أحدثت تأثيرات معنوية في الصفات الفينولوجية والإنتاجية المدروسة لكلا المحصولين، مع تباين واضح بين الأنظمة تبعاً لنسب الخطوط المزروعة.
2. تفوق النظام (3 خط ذرة + 1 خط فول) في تحقيق أعلى غلة حبية وبيولوجية للذرة الصفراء، مما يعكس كفاءة مرتفعة في استغلال الموارد البيئية وتقليل شدة التنافس.
3. سجل البقول السوداني أفضل أداء إنتاجي ضمن النظام (4 خط ذرة + 4 خط فول)، وهو ما يشير إلى توافق بنيوي وفسولوجي بين المحصولين عند هذا المستوى من التداخل الزراعي.
4. أدت أنظمة التحميل إلى تأخر نسبي في الإزهار مقارنة بالزراعة المنفردة، نتيجة الاستجابة الفسيولوجية للتنافس على الضوء والماء والعناصر الغذائية.
5. أظهرت معظم أنظمة التحميل تحسناً ملحوظاً في وزن الالف حبة للذرة ووزن الالف بذرة للبقول، مما يدل على زيادة كفاءة التحويل الحيوي للمواد الجافة.
6. حافظ معامل الحصاد على استقرار نسبي عبر المعاملات، مع تفوق بعض الأنظمة، مما يؤكد أن التداخل الزراعي لم يؤثر سلباً في تخصيص المواد الجافة نحو الجزء الاقتصادي.
7. تؤكد النتائج أن تحميل الذرة الصفراء مع البقول السوداني يمثل خياراً زراعياً فعالاً لرفع الإنتاجية وتحسين كفاءة استخدام الأرض، مع إمكانية اختيار النظام الأمثل وفقاً للهدف الإنتاجي وظروف الموقع.

التوصيات:

1. تشجيع استخدام أنظمة التحميل بدل الزراعة المنفردة لرفع كفاءة استخدام الأرض والمياه وتحسين العائد الاقتصادي للمزارعين.

2. اعتماد النظام (3 خط ذرة + 1 خط فول) كخيار مفضل لزيادة إنتاجية الذرة الصفراء في البيئات المشابهة لظروف محافظة الرقة.

3. التوسع في تطبيق النظام (4 خط ذرة + 4 خط فول) بهدف تحسين إنتاجية الفول السوداني ضمن أنظمة التحميل.

4. تكرار التجربة عبر مواسم متعددة للتحقق من ثبات النتائج تحت ظروف مناخية متباينة.

المراجع:

- المجموعة الإحصائية الزراعية. (2022). وزارة الزراعة والإصلاح الزراعي، سورية.
- Agegehu, G.; Ghizaw, A.; and W. Sinebo (2006). Yield potential and land-use efficiency of wheat and faba bean mixed intercropping .Agronomy for Sustainable Development, 26, 257–263.
- Ahmed, M.; Hassan, A.; Raza, M.; Gul, H.; Iqbal, R.; A. M. U. Din (2024). Climate resilience and thermal stress reduction in maize–legume intercropping systems under semi-arid conditions. Journal of Agronomy and Crop Science, 210(4), 512–526. <https://doi.org/10.1002/jac.2458>
- Akbar, N.; Ahmad, M.; and M. B. Khan (2008). Growth and yield components of maize as influenced by different nitrogen levels .Pakistan Journal of Agricultural Sciences, 45(1), 1–5.
- Andrews, D. J.; and Kassam, A. H. (1976). The importance of multiple cropping in increasing world food supplies. American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin.
- Bavec, F.; and Bavec, M. (2002). Effects of intercropping on yield components and grain filling in cereals. European Journal of Agronomy, 16(1), 43–50.
- Eskandari, H.; and A.Ghanbari (2010). Intercropping of maize and cowpea as whole-crop forage: Effect of planting ratio and nitrogen application .Journal of Food, Agriculture and Environment, 8(1), 102–105.
- Galinat, W. C. (1988). The origin of maize: Domestication and diffusion .Economic Botany, 42(1), 6–13.
- 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.
- Hussain, A.; Gul, S.; Ahmad, N.; Farooq, M.; Ali, R.; S. Khan (2023). Water-use efficiency in maize–legume intercropping systems under semi-arid conditions. Agricultural Water Management, 280, 108–120.
- Khan, M. A.; Ullah, S.; Rahman, H.; Ahmad, I.; Shah, S. T.; M. S. Baloch (2024). Biological nitrogen fixation and soil fertility enhancement in maize–legume intercropping systems. Soil Biology and Biochemistry, 190, 109–118.

- Li, L.; Sun, J.; Zhang, F.; Li, X.; Yang, S.; and Z. Rengel (2001). Wheat/maize or wheat/soybean strip intercropping: I. Yield advantage and interspecific interactions. *Field Crops Research*, 71(2), 123–137.
- Li, Y.; Zhang, W.; Ma, L.; Huang, G.; Oenema, O.; and F. Zhang (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.; Dordas, C. A.; Damalas, D. N.; and 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 .
- Arab, M.; Mhanna, A.; and F. Abbas (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.; and R. W. Willey (1980). The concept of a ‘land equivalent ratio’ and advantages in yields from intercropping. *Experimental Agriculture*, 16(3), 217–228.
- 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>
- Meteoblue, (2025). Weather Archive – Raqqa, Syria. Retrieved from <https://www.meteoblue.com>
- Metwally, A. A.; Safina, S. A.; and Y. A. Hefny (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.
- Monteith, J. L. (1977). Climate and the efficiency of crop production in Britain. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, 281(980), 277–294.
- Mucheru-Muna, M.; Pypers, P.; Mugendi, D.; Kung'u, J.; Mugwe, J.; Merckx, R.; B. Vanlauwe (2010). Enhancing maize productivity and profitability using organic and mineral fertilizers in central Kenya. *Experimental Agriculture*, 46(1), 1–21.
- Patil, Y. G.; Mevada, K. D.; Vaghela, G. M.; and M. R. Bedis (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.
- Postma, J. A.; and J. P. Lynch (2012). Complementarity in root architecture for nutrient uptake in intercropping systems. *Field Crops Research*, 127, 119–128.
- Rezaul, K. M.; Rahman, M. M.; Islam, M. S.; Hossain, M. A.; M. A. Karim (2013). Harvest index and its components in peanut under different environmental conditions. *Legume Research*, 36(5), 412–418.
- 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 hypogaea* L.) intercropping system. Agricultural Sciences, (14), 1292–1320. <https://doi.org/10.4236/as.2023.149087> .
- SAS. (2004). SAS proprietary software, Version 9.00, SAS Institute Inc., Cary, NC.
- Shao, Z., Hu, S., Fan, C., Meng, Z., Yan, X., Ji, W., Zhang, Z., Ma, H., Nasar, J., and H.Gitari (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>
- Sharma, S.; Patel, R.; Singh, A.; Kumar, P.; Verma, R.; S.Chauhan (2022). Productivity and resource-use efficiency in maize–legume intercropping systems. Agronomy Journal, 114(3), 1450–1465.
- Tsubo, M.; and S.Walker (2004). Shade effects on (*Phaseolus vulgaris* L.) intercropped with (*Zea mays* L.) under semi-arid conditions .Journal of Agronomy and Crop Science, 190(3), 168–176.
- Wabinga, H.; Okello, D.; Lwasa, S.; Mugisha, J.; J.Tumuhairwe (2014). Peanut production and water-use efficiency under semi-arid conditions. African Journal of Agricultural Research, 9(12), 1012–1020.
- Wang, X.; Li, L.; Zhang, F.; and J. Shen; (2014). Allelopathic and growth-promoting effects of peanut (*Arachis hypogaea* L.) root exudates on maize (*Zea mays* L.) in intercropping systems. Journal of Plant Interactions, 9(1), 285–292.
- Wang, X.; Liu, J.; Zhang, L.; Chen, H.; Li, Z.; G. Huang (2023). Enhancing maize–legume intercropping productivity under limited resources. Field Crops Research, 294, 108–120.
- Willey, R. W. (1979). Intercropping—its importance and research needs. Part 1: Competition and yield advantages. Field Crop Abstracts, 32(1), 1–10.
- Xu, M.; Yang, X.; He, R.; Zang, J.; Xie, J.; Lai, X.; and Y. Shen (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.; Y.Shen (2024). Adaptive responses of maize–legume intercropping systems to climate variability: impacts on radiation use efficiency and heat stress mitigation. Journal of Agriculture and Food Research, 22, 102312. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2024.102312>
- Yu, Y.; Stomph, T. J.; Makowski, D.; Zhang, L.; and W. van der Werf (2021). Maize/peanut intercropping increases land productivity: A meta-analysis. European Journal of Agronomy, 122, 126–135.
- Zhou, Q.; Li, Y.; Wang, H.; Zhang, X.; Chen, J.; L. Liu (2023). Land equivalent ratio and productivity in maize–legume intercropping systems. Agricultural Systems, 205, 103–118.

Evaluation of phenological, productivity performance, and resource-use efficiency in maize and peanut intercropping systems

Ibrahim Al-Fandi^{1*}, Ahmad Al-Ali Al-Khalaf² and Mohammad Khair Othman¹

¹ Faculty of Agricultural Engineering, AL-Furat University, Syria.

² Raqqa Research Center, General Commission for Scientific Agricultural Research.



(*Corresponding author: Ibrahim Al-Fandi, Email: ibrahemalfandi2@gmail.com)

Received: 25/ 1/ 2026

Accepted: 2/ 6/ 2026

Abstract

This study was conducted in the Al-Sabkha sub district of Raqqa Governorate during the 2025 growing season to evaluate the phenological and productive performance of maize-peanut intercropping systems and to assess resource-use efficiency across a set of key agronomic traits. The experiment was arranged in a randomized complete block design (RCBD) with three replications and included seven intercropping patterns in addition to sole cropping. Measurements encompassed days to flowering, thousand-kernel and thousand-seed weights, grain and pod yields, biological yield, harvest index, and productivity efficiency indicators such as the System Productivity Index (SPI), Maize Equivalent Yield (MEY), and Radiation Use Efficiency (RUE). The results demonstrated a clear advantage of intercropping systems over sole cropping in most evaluated traits. Maize flowering occurred between 63 and 66 days, while peanut flowering ranged from 75 to 77 days. Intercropping enhanced yield components, with maize thousand-kernel weight ranging from 270 to 300 g and peanut thousand-seed weight from 846.7 to 1103.3 g. The (3 maize rows + 1 peanut row) system produced the highest maize grain yield (5.167 t ha⁻¹), whereas the (4 maize rows + 4 peanut rows) system achieved the highest peanut yield (2.833 t ha⁻¹). Superior systems also exhibited increased biological yield and harvest index, indicating balanced vegetative and reproductive growth. The (3 maize rows + 1 peanut row) system recorded the highest SPI (2.243 t ha⁻¹) and RUE (1.03 g MJ⁻¹), while the A4:B4 system achieved the highest MEY (12.27 t ha⁻¹), confirming its overall superiority. These findings highlight the potential of maize – peanut intercropping – particularly the 3:1 and 4:4 row arrangements – as an effective strategy for enhancing productivity and improving resource-use efficiency in arid and semi-arid environments.

Keywords: Intercropping systems, maize, peanut, productivity efficiency indicator