

إنتاج لبن مخمر مدعم بالسبيرولينا وتقييم خصائصه الكيميائية والفيزيائية والميكروبية والحسية

كاتيا عامر الياس^{1*} و عبد الوهاب سينو مرعي² و شريف حسن صادق¹¹ قسم الهندسة الغذائية، كلية الهندسة الكيميائية والبترونية، جامعة حمص ، سوريا.² قسم علوم الأغذية، كلية الزراعة، جامعة دمشق، دمشق سوريا.(*للمراسلة: كاتيا عامر الياس، البريد الإلكتروني: Katia.elias9118@gmail.com جوال: 0987044624)

تاريخ الاستلام: 2026 / 3 / 11 تاريخ القبول: 2026 / 6 / 21

الملخص

أجريت مجموعة من التجارب في جامعة حمص ضمن مخابر قسم الهندسة الغذائية في كلية الهندسة الكيميائية والبترونية حول تدعيم اللبن الرائب مع استخدام لبن رائب مصنع من حليب بقر كتحجيرة شاهد وعينات حليب مضاف إليه نسبة % (0.3, 0.5, 0.7) من السبيرولينا عند الدرجة 37°C، بإضافة البادئ اللبني بنسبة 3% استمر التخمر مدة 24 ساعة تم خلالها أخذ التعداد لكل من العصيات والمكورات اللبنية وبعد انتهاء التخمر عند درجة الحموضة 4.6 (pH) تم تقييم جميع العينات حسيًا، كيميائيًا وفيزيائيًا، وتبين من النتائج أن تدعيم اللبن بالسبيرولينا أدى إلى تنشيط بكتيريا حمض اللبن، ارتفاع نسبة البروتين ومضادات الأكسدة في العينات المدروسة بزيادة تركيز السبيرولينا دون التأثير المعنوي على نسبة الدسم أو الكربوهيدرات وبالتالي رفع القيمة الغذائية للبن وتحسين الخواص الفيزيائية والكيميائية، أظهرت النتائج أن عينات اللبن المدعم بنسبة 0.5% سبيرولينا لاقت قبولاً حسيًا أعلى مقارنة بالمعاملات الأخرى كما سجلت كل من البكتيريا العصوية والكروية أعلى معدل نمو لتصبح 8.6 logcfu/ml، 8.4 logcfu/ml على الترتيب، وزادت كمية حمض اللبن المتشكل بعد 24 ساعة من 0.9% إلى 1.1% كما ارتفعت نسبة البروتين 3.30% ← 3.65% ومضادات الأكسدة من 1.5±22% ← 2.3±46%.

الكلمات المفتاحية: التخمر اللبني، السبيرولينا القيمة الغذائية، اللبن المخمر المدعم.

المقدمة:

تزايد الاهتمام خلال السنوات الأخيرة بإنتاج أغذية وظيفية تجمع بين القيمة الغذائية العالية والخصائص الصحية المحسنة. يُعد اللبن المخمر (الرائب) من أكثر المنتجات اللبنية استهلاكاً عالمياً لاحتوائه على بكتيريا حمض اللبن ذات فوائد مثبتة في دعم الصحة الهضمية وتعزيز توازن البكتيريا المعوية. وفي الوقت نفسه، ظهرت السبيرولينا كأحد أغنى الطحالب الدقيقة بالمركبات الحيوية النشطة مثل البروتينات عالية الجودة، مضادات الأكسدة، والفيتوكومباينين، مما يجعلها مرشحاً واعداً لتعزيز القيمة الغذائية والوظيفية للمنتجات الغذائية المختلفة. تُصنّف السبيرولينا من قبل علماء النبات ضمن الطحالب الخضراء المزرقّة أو السيانوبكتيريا (Cyanobacteria أو Cyanophyceae) لاحتوائها على الكلوروفيل أ مثل النباتات العليا، وهو الاسم العام للطحالب الخيطية متعددة الخلايا يُعد *Spirulina platensis* النوع الأكثر شيوعاً واستخداماً، وقد تم تناوله على نطاق واسع في الدراسات العلمية، خصوصاً في مجالات الصناعات الغذائية والطب (Ahsan and Habib., 2008). تحتوي السبيرولينا على أكثر من 60% بروتين، بالإضافة إلى فيتامين B12، الحديد، البيتا كاروتين، وحموض دهنية غير مشبعة، مما يجعلها وسطاً غذائياً محفزاً للبكتيريا اللبنة أثناء التخمر. وجود هذه المركبات يساهم في تعزيز النشاط الميكروبي وتحسين معدل النمو، خاصة في المراحل المبكرة من التخمر. كذلك، تشير بعض الدراسات إلى أن وجود السكريات متعددة الوظائف في السبيرولينا قد يوفر مصدر كربون إضافي للبكتيريا اللبنة (Colla et al., 2017). وقد أشادت العديد من المؤسسات العالمية مثل منظمة الصحة العالمية

(WHO)، اليونسكو وإدارة الغذاء والدواء الأمريكية (FDA) بالسبيرولينا واعتبرتها من أفضل مصادر البروتين. وسمحت المؤسسات الحكومية الدولية باستخدام السبيرولينا لمحاربة سوء التغذية (Soni et al., 2017). بالإضافة لظهور العديد من الدراسات في مجال منتجات الألبان واللوجبات الخفيفة أن إدخال السبيرولينا بتركيز منخفضة (0.25-2%) يحسن من محتوى البروتين والألياف يُعزز نمو بكتيريا البروبيوتيك في اللبن، مع زيادة في القدرة المضادة للأكسدة وتحسن في الصفات الحسية (Lucas et al., 2018; Beheshtipour et al., 2012). كما لوحظ دور إيجابي للسبيرولينا في منتجات الألبان الأخرى مثل الجبن والشراب التركي التقليدي (العيّران) (Çelekli et al., 2019; Golmakani et al., 2019). في دراسة للعالم Malik وزملاؤه (2013) استخدم السبيرولينا كمصدر غني بالأحماض الأمينية والدهون الأساسية وغيرها من العناصر وأضافها إلى اللبن الرائب بنسب (0.1%-0.2%-0.3%-0.5%) بهدف تحسين القيمة الغذائية والوظيفية دون التأثير السلبي في جودته الحسية. لاحظ الباحث زيادة محتوى البروتين والدهن والحديد، تحسن قوام الخثرة وكذلك زيادة في الحموضة وانخفاض في وقت الإعداد مع زيادة التركيز، كما منحت السبيرولينا اللبن لوناً أخضر فاتحاً طبيعياً. حصل اللبن المحتوي على 0.3% سبيرولينا على درجات مقارنة للبن العادي من حيث القبول الحسي، مع احتفاظه بالبكتيريا اللبنة بنسبة أعلى أثناء التخزين عند 4°C. أضاف Agustini وزملاؤه (2017) *S. platensis* بنسب (0.5%-0.75%-1%-2%-3%) بهدف تحديد أفضل تركيز للسبيرولينا في اللبن ومراقبة خصائصه الكيميائية والفيزيائية والميكروبيولوجية والحسية. ووفقاً للنتائج، كان أفضل تركيز مضاف هو 1%، حيث تم قبوله حسيّاً، أظهر اختلافاً معنوياً عن عينة الشاهد من حيث محتوى البروتين، اللزوجة، وإجمالي بكتيريا حمض اللبن، لكنه لم يظهر أي اختلاف من حيث محتوى الماء، الرماد، الكربوهيدرات، الدهن، إجمالي حمض اللبن، درجة الحموضة، التقييم الحسي، كما أنه توافقت مع المواصفات القياسية الوطنية الإندونيسية. كما أشار Debbabi وزملاؤه (2019) إلى إمكانية تعزيز القيمة الغذائية للبن دون التأثير في خصائصه الحسية من خلال إضافة السبيرولينا بنسب تتراوح بين (0.1%-0.5%) إلى الطيب المبستر قبل التخمير اللبني حيث زادت البروتينات حتى 46% والمعادن 23% عند إضافة (0.12%-0.24%) سبيرولينا دون التأثير على درجة الحموضة أو معدل انفصال المصل، في هذا السياق، قام Abdelkebir وزملاؤه 2020 بدراسة تأثير إضافة *Spirulina platensis* في الخصائص الميكروبيولوجية والحسية للبن المخمر، ووجد أن تدعيم اللبن بنسبة 1% من السبيرولينا أدى إلى زيادة ملحوظة في نمو البكتيريا اللبنة، خصوصاً خلال المراحل المبكرة من التخمير، كما حسن من استقرارها أثناء التخزين.

أهداف البحث:

1. دراسة تأثير إضافة السبيرولينا في معدل نمو البكتيريا حمض اللبن بنوعها العصوية والكروية خلال فترة التخمير اللبني.
2. دراسة تأثير السبيرولينا في الخصائص الفيزيائية والكيميائية والحسية للبن المتخمّر.
3. تحديد التركيز المفترض من السبيرولينا بهدف رفع القيمة الغذائية للبن وإمكانية الحصول على منتج جديد مقبولاً لدى المستهلكين.

المواد وطرق البحث:

أ. مواد البحث:

1. سبيروولينا (*Spirulina platensis*) إنتاج شركة Dxn الماليزية، مجفف بالتجميد (Freeze-dried) بنسبة نقاء $\geq 95\%$ ، دفعة TSCC205004: تم الحصول عليها بإكثار الإشتيات بمزارع خاصة في ماليزيا (مستوردة).

يبين الجدول (1) التركيب الكيميائي للسبيروولينا المستخدمة.

الجدول (1): التركيب الكيميائي للسبيروولينا وفقاً للشركة المنتجة

النسبة %	المكون	النسبة %	المكون
8	معادن	65	بروتين
346mg/100ml	كاروتينات	15	كربوهيدرات
		6	دسم
		0.75	فيتامينات



الشكل (1): سبيروولينا من شركة DXN

2. حليب بقري طازج مبستر مضبوط الدسم (3.5%) إنتاج معمل ألبان حمص وذلك لضمان ثبات التركيب الكيميائي للحليب المستخدم في تحضير جميع العينات.
3. بادئ اللبن الرائب: هو بكتيريا حمض اللبن نقي (إنتاج شركة بيوتيك-إيطاليا) تعبئة مختبرات شركة أمانة - سوريا - حمص - مدينة حسياء الصناعية LAB-CO2 رقم الدفعة 14721 والمكون من بكتيريا *Lactobacills bulgaricus* و *Streptococcus thermophiles* بنسبة 1:1.
4. البيئات الغذائية (الأوساط ومتطلبات الزرع الجرثومي) من عبوات زجاجية، أطباق بتري ساحات معيارية

ب. الطرق المستخدمة:

1. تحضير مزرعة البادئ اللبني الأم: (عطر، 2017)

تم التحضير وفق الخطوات التالية: أضيف 1g من مزرعة البادئ المجففة بهدف تقليل الكثافة الابتدائية للخلايا مما يسمح بإظهار التأثير المحتمل لإضافة السبيروولينا كمصدر مغذيات محفزة للبكتيريا اللبنية (Prada et al., 1998) إلى لتر حليب فرز معقم ومبرد إلى الدرجة 43°C، ثم التحضين على درجة حرارة 45°C حتى الوصول إلى درجة الـ pH 4.6 وبعدها بُرد حتى درجة حرارة 4°C وحُزن مبرد لحين الاستخدام.

2. تحضير اللبن الرائب (تجربة التخمر اللبني):

تم تحضير عينات اللبن الرائب باستخدام بادئ الإضافة الذي تم تحضيره والمكون من البكتيريا *Lactobacills bulgaricus* و *Streptococcus thermophiles*

وفق الخطوات التالية:

1. تمت المعاملة الحرارية لـ 1l من الحليب البقري في حمام مائي عند درجة حرارة 95°C لمدة 5 دقائق
2. تم تقسيم الحليب لعدة عينات (كل عينة 100ml) وُضعت في عبوات زجاجية معقمة مسبقاً.
3. بُردت ضمن حمام مائي حتى انخفاض درجة الحرارة إلى 45°C تمت إضافة السبيروولينا بنسبة % (0-0.3-0.5-0.7) مع التحريك والمزج بشكل جيد حتى التأكد من ذوبان كامل الكمية تمت الإضافة والعمل في جو معقم.
4. أُضيف البادئ اللبني بنسبة %3 (بعد ذوبان السبيروولينا والتأكد من درجة حرارة الحليب 45°C) مع التحريك ببطء.
5. أغلقت العبوات بشكل جيد لتصبح العينات وفق الجدول (2)



الشكل (2): تحضين العينات

الجدول (2): عينات اللبن وفق نسب السبيروولينا

نسبة السبيروولينا المضافة %	العينة
0	(1): الشاهد: حليب متخمّر (لبن)
0.3	(2): حليب متخمّر + 0.3% سبيروولينا
0.5	(3): حليب متخمّر + 0.5% سبيروولينا
0.7	(4): حليب متخمّر + 0.7% سبيروولينا

6. وُضعت العينات في الحاضنة بدرجة حرارة 37°C (لتجنب الإجهاد الحراري للبكتيريا وللمركبات الحيوية الموجودة في السبيروولينا) مدة 24 ساعة لإعطاء وقتاً للبكتيريا لاستغلال المغذيات الموجودة في السبيروولينا ولإنتاج حموض عضوية ومركبات نكهة أكثر تظهر بوضوح التأثير التحفيزي للسبيروولينا على نمو البكتيريا مع مراقبة قيمة pH خلال الأمانة (0-24) 3-6 ساعة

7. خزنت عينات اللبن الرائب المدعم بالسبيروولينا في البراد عند درجة حرارة 4°C (مقاس بميزان حرارة).

ج. الاختبارات الفيزيائية والكيميائية:

تم إجراء التجارب العملية والتحليلات المخبرية في مخابر قسم الهندسة الغذائية وكلية الهندسة الزراعية في جامعة حمص (ثلاث مكررات) وُحُدت النتائج عن طريق الاختبارات والتجارب التالية:

- **رقم الحموضة (pH):** باستخدام مقياس pH meter (AOAC.,2019).
- **الحموضة المعايرة:** وفق طريقة المعايرة بمطول 0.1 N NaOH وحسابها كنسبة مئوية مقدرة على أساس حمض اللبن (AOAC.,2019).

- **المقدرة المضادة للأوكسدة:** وفق طريقة DPPH حسب (Yildirim et al., 2001)
- **المادة السامة:** وفق طريقة جريب (AOAC 2000).
- **تقدير البروتينات:** وفق طريقة Sorensen (AOAC 2000).
- **الكربوهيدرات:** وفق طريقة Lane-Eyon (AOAC 2000).
- **اختبار اللون:** باستخدام جهاز Spectrophotometer CM-5.
- د. **الاختبارات الميكروبيولوجية:**

تم تتبع النمو البكتيري بإجراء الاختبارات الميكروبيولوجية حسب (صادق, 2005: 2017, APHA) للعصيات على بيئة MRS والمكورات على بيئة M17 عند الدرجة 37°C ضمن شروط لاهوائية خلال عملية التخمير اللبني وفق الأزمنة (0-3-6-24) ساعة من بدء التخمير. حُددت النتائج بعد 48 ساعة

هـ. الاختبارات الحسية:

تعتبر الخواص الحسية للبن مهمة في قبول المستهلك للمنتج، يؤثر لون اللبن الملمس، المظهر، النكهة وفصل المصل بشكل كبير على القبول العام للبن المتخمّر. تم إجراء التقييم الحسي لعينات اللبن المتخمّر من قبل مجموعة من الأشخاص المتذوقين (10-15) شخصاً لديهم خبرة في تقييم المنتجات اللبنية (اللون-الطعم-الرائحة-القبول العام). تم تقييم العينات بعد 24 ساعة من التخمير، حيث قُدمت العينات بشكل عشوائي وبكميات متساوية (حوالي 20-30ml) لكل محكّم، في أوعية بلاستيكية نظيفة، أُجري التقييم في ظروف إضاءة وحرارة مناسبة (درجة حرارة الغرفة)، وتم تزويد المحكّمين بالماء لغسل الفم بين العينات (Suresh et al., 2021).

و. التحليل الإحصائي:

تم تحليل البيانات باستخدام تحليل التباين الأحادي (One-way ANOVA) متبوعاً باختبار مقارنة المتوسطات، حيث تشير القيم التي تحمل حروفاً مختلفة إلى وجود فروق معنوية عند مستوى دلالة ($P < 0.05$).

النتائج:

1. نتائج الاختبارات الفيزيائية والكيميائية:

• الحموضة الكلية:

يظهر الجدول (3) تغيرات الحموضة الكلية وفقاً لنسب السبيرولينا خلال فترات التخمير المختلفة عند إضافة بادئ 0.3%. إضافة السبيرولينا أدت إلى زيادة معنوية في كمية حمض اللبن المتشكل مقارنة بالعينة الشاهدة، حيث ارتفعت القيمة من 0.9% عند عدم الإضافة إلى 1% عند تركيز 0.3%، وصولاً إلى أعلى قيمة بلغت 1.1% عند تركيز 0.5%، مع وجود فروق معنوية واضحة بين هذه المعاملات (A، B، C على التوالي). ويشير ذلك إلى أن إضافة السبيرولينا بتركيز معتدل (0.5%) تحسّن من كفاءة التخمير اللبني عند نسبة بادئ 3%، نتيجة التأثير التآزري بين الكثافة البكتيرية الابتدائية العالية وتوفر المركبات الغذائية والوظيفية في السبيرولينا، مما يعزز من مسارات التحلل السكري وإنتاج حمض اللبن.

• درجة الحموضة pH:

لوحظ أن التركيز 0.5% سبيرولينا كان الأكثر فاعلية في خفض pH، وهو ما يتوافق مع النتائج الخاصة بزيادة أعداد العصيات اللبنية وارتفاع كمية حمض اللبن المتشكل عند هذا التركيز. ويشير ذلك إلى وجود تركيز أمثل للسبيرولينا يُحقق أعلى كفاءة

تخميرية. في المقابل، أظهرت المعاملات التي احتوت على 0.7% سبيروولينا انخفاضاً أقل في pH مقارنة بتركيز 0.5% خاصة عند الأزمنة المتقدمة، مما يدل على أن التراكيز المرتفعة من السبيروولينا قد تُحدث تأثيراً مثبطاً جزئياً في النشاط الأيضي للبكتيريا. وقد يُعزى ذلك إلى زيادة تركيز المركبات الفينولية والأصبغ الطحلبية، التي قد تؤثر في نفاذية الغشاء الخلوي أو في فعالية الإنزيمات المسؤولة عن التخمر.

الجدول (3): تغيرات الحموضة الكلية وفقاً لنسب السبيروولينا وأزمنة التخمر المختلفة

الحموضة الكلية % كمية حمض اللبن المتشكل	نسبة السبيروولينا المضافة %	الزمن (ساعة h)
0.9±0.10C	0	24
1±0.10B	0.3	
1.1±0.10A	0.5	
1±0.01B	0.7	

ملاحظة: تشير الأحرف المختلفة (A, B, C) ضمن العمود إلى وجود فروق معنوية بين المتوسطات عند مستوى ($P < 0.05$)، في حين تشير الأحرف المتشابهة إلى عدم وجود فروق معنوية. وبلغت قيمة أقل فرق معنوي 0.12.

يظهر الجدول (4) تغيرات قيم درجة الحموضة pH في عينات اللبن المتخمر وفقاً لنسب السبيروولينا خلال فترات التخمر المختلفة عند إضافة 3% بادئ.

الجدول (4): تغيرات قيم درجة الحموضة pH وفقاً لنسب السبيروولينا خلال فترة التخمر اللبني

درجة الحموضة Ph	نسبة السبيروولينا المضافة %	الزمن (ساعة h)
6.6±0.10Aa	0	0
6.6±0.14Aa	0.3	
6.6±0.10Aa	0.5	
6.6±0.14Aa	0.7	
5.9±0.21Ab	0	3
5.75±0.20Bb	0.3	
5.65±0.10Bb	0.5	
5.75±0.22Bb	0.7	
5.2±0.14Ac	0	6
5.05±0.21Bc	0.3	
4.95±0.12Bc	0.5	
5.05±0.22Bc	0.7	
4.6±0.15Ad	0	24
4.45±0.23Ad	0.3	
4.3±0.10Bd	0.5	
4.4±0.22ABd	0.7	

تشير الأحرف الكبيرة المختلفة (A-B) إلى وجود فروق معنوية بين نسب السبيروولينا ضمن نفس الزمن بينما تشير الأحرف الصغيرة المختلفة (a-d) إلى وجود فروق معنوية بين الأزمنة المختلفة، وذلك عند مستوى معنوية ($P \leq 0.05$) وقيمة أقل فرق معنوي 0.11.

• نسبة البروتين:

بيّنت النتائج أن نسبة البروتين في اللبن عند بداية التخمر كانت 3.30% في العينة الشاهدة، وارتفعت تدريجياً إلى 3.45%، و3.65%، و3.85% عند إضافة السبيروولينا بتركيز 0.3%، 0.5%، و0.7% على التوالي. ويُعزى هذا الارتفاع المباشر إلى المحتوى

البروتيني العالي للسبيرولينا، إذ تحتوي على ما يقارب 60-70% بروتين عالي القيمة الحيوية، مما يؤدي إلى زيادة فورية في نسبة البروتين الكلي للمنتج.

وعند نهاية التخمر (24h)، استمرت هذه الزيادة، حيث بلغت نسبة البروتين 3.20% في العينة الشاهدة، وارتفعت إلى 3.50%، و3.80%، و4.10% عند التراكيز نفسها من السبيرولينا. ويشير ذلك إلى أن عملية التخمر لم تُخفض نسبة البروتين، بل أسهمت في تحسين ثباته وربما زيادة قابليته للقياس نتيجة التحلل الجزئي للبروتينات المعقدة إلى ببتيدات وأحماض أمينية، ما يزيد من ذوبانها وظهورها في التحليل الكيميائي.

يظهر الجدول (5) قيم البروتين في عينات اللبن المخمر عند بداية ونهاية التخمر وفقاً لنسب السبيرولينا

الجدول (5): قيم البروتين في اللبن وفقاً لنسب السبيرولينا المضافة

قيم البروتين (%)		نسبة السبيرولينا المضافة (%)
نهاية التخمر (24h)	بداية التخمر (0h)	
3.2±0.05C	3.3±0.05A	0
3.5±0.05C	3.45±0.05B	0.3
3.8±0.09B	3.65±0.09C	0.5
4.1±0.11A	3.85±0.11D	0.7

القيم المعبر عنها تمثل المتوسط والانحراف المعياري وتشير الأحرف المختلفة ضمن كل عمود إلى وجود فروق معنوية عند مستوى دلالة ($P \leq 0.05$). في حين أن القيم التي تحمل نفس الحرف لا تختلف معنوياً تمت المقارنة الإحصائية داخل كل عمود لوحده وليس بين الأعمدة، قيمة أقل فرق معنوي 0.12.

• نسبة الدسم:

أظهرت النتائج أن نسبة الدسم في اللبن عند بداية التخمر كانت ثابتة تقريباً عند 3% في جميع المعاملات، سواء في العينة الشاهدة أو في العينات المدعمة بالسبيرولينا بتركيز 0.3, 0.5, 0.7%. كما لم تُسجل فروق ملحوظة عند نهاية التخمر (24h)، حيث تراوحت القيم بين 2.85 و2.95%.

ويشير هذا الثبات إلى أن عملية التخمر اللبني لا تؤدي إلى استهلاك الدسم، نظراً لأن بكتيريا حمض اللبن تعتمد أساساً على اللاكتوز كمصدر للطاقة كما أن السبيرولينا، رغم غناها بالمركبات الحيوية، تحتوي على نسبة دهون منخفضة نسبياً، مما يجعل تأثيرها المباشر في محتوى الدسم الكلي محدوداً دون حدوث أي فرق معنوي.

يظهر الجدول (6) قيم الدسم في عينات اللبن المخمر وفقاً لنسب السبيرولينا عند بداية ونهاية التخمر.

الجدول (6): قيم الدسم في اللبن وفقاً لنسب السبيرولينا المضافة

قيم الدسم (%)		نسبة السبيرولينا المضافة (%)
نهاية التخمر (24h)	بداية التخمر (0h)	
2.95±0.07A	3±0.07A	0
2.95±0.07A	3±0.07A	0.3
2.92±0.09A	3±0.09A	0.5
2.92±0.09A	3±0.09A	0.7

القيم المعبر عنها تمثل المتوسط ± الانحراف المعياري وتشير الأحرف المتشابهة ضمن العمود الواحد إلى عدم وجود فروق معنوية عند مستوى دلالة ($P \leq 0.05$) مما يدل على عدم وجود تأثير معنوي لإضافة السبيرولينا على نسبة الدسم، قيمة أقل فرق معنوي 0.10.

• نسبة الكربوهيدرات:

تشير النتائج الواردة في الجدول (7) أن نسبة الكربوهيدرات في اللبن انخفضت بوضوح بين بداية التخمر (0h) ونهايته (24h) في جميع المعاملات، بغض النظر عن نسبة السبيرولينا المضافة، حيث بلغت القيمة الابتدائية 4.8% في جميع العينات، بينما

تراوحت القيم النهائية بين 2.1 و 2.5%. ويُعزى هذا الانخفاض بشكل أساسي إلى استهلاك بكتيريا حمض اللبن للاكتوز كمصدر رئيسي للطاقة خلال عملية التخمر، وتحويله إلى حمض اللبن، وهو ما يتوافق مع الآلية المعروفة للتخمر اللبني. لوحظ أن إضافة السبيروولينا بتركيز 0.5% أدت إلى أدنى قيمة للكربوهيدرات في نهاية التخمر 2.1 مقارنةً بالعينات الأخرى، مما يشير إلى أن هذا التركيز قد حَفَز نشاط بكتيريا حمض اللبن، وساهم في زيادة معدل استهلاك السكريات. في المقابل، لم يُظهر رفع نسبة السبيروولينا إلى 0.7% انخفاضاً إضافياً في الكربوهيدرات، إذ ارتفعت القيمة إلى 2.3%، وهو ما قد يُفسّر بوجود تأثير تثبيطي جزئي عند التراكيز الأعلى نتيجة زيادة المركبات النيتروجينية أو الصباغية في السبيروولينا، مما قد يؤثر في كفاءة استهلاك اللاكتوز.

يظهر الجدول (7) قيم الكربوهيدرات في عينات اللبن المتخمر وفقاً لنسب السبيروولينا المضافة عند بداية ونهاية التخمر

الجدول (7): قيم الكربوهيدرات في اللبن وفقاً لنسب السبيروولينا المضافة

قيم الكربوهيدرات (%)		نسبة السبيروولينا المضافة (%)
بداية التخمر (0h)	نهاية التخمر (24h)	
4.8±0.10A	2.50±0.10A	0
4.8±0.12A	2.30±0.12AB	0.3
4.8±0.15A	2.10±0.15B	0.5
4.8±0.12A	2.30±0.12AB	0.7

القيم المعبر عنها تمثل المتوسط ± الانحراف المعياري وتشير الأحرف المختلفة ضمن العمود الواحد إلى وجود فروق معنوية عند مستوى دلالة ($P \leq 0.05$)، لم تظهر المعاملات التي تحمل الرمز AB فروقاً معنوية مقارنة بكل من المجموعتين A و B، قيمة أقل فرق معنوي 0.20.

• اللون:

أوضحت النتائج أن إضافة السبيروولينا بتركيز 0.3%, 0.5%, 0.7% أدت إلى تغيرات معنوية ومنظمة في قيم اللون (L^* , a^* , b^*) مقارنة بعينة الشاهد (0%). وقد تمثلت هذه التغيرات في انخفاض السطوع (L^*)، وزيادة واضحة في الاتجاه الأخضر (انخفاض a^*)، وانخفاض في الاصفرار (انخفاض b^*).

سجلت عينة الشاهد قيمة مرتفعة للسطوع ($L^* \approx 89.9$)، وهو ما يعكس اللون الأبيض المميز للبن. ومع زيادة تركيز السبيروولينا، انخفضت قيمة L^* تدريجياً إلى 77.96 عند 0.3% و 76.96 عند 0.5% و 70.10 عند 0.7%.

بينما انتقلت قيمة a^* من 0.26 في الشاهد إلى -7.18 عند 0.3% و -8.69 عند 0.5% و -9.62 عند 0.7% وتشير القيم السالبة المتزايدة إلى ازدياد الميل نحو اللون الأخضر مع ارتفاع نسبة السبيروولينا. ويُعزى ذلك إلى احتواء السبيروولينا على الكلوروفيل والفيكوسيانين، وهما صبغتان تمنحان اللون الأخضر - الأزرق.

يبين الجدول (8) التغيرات في قيم اللون من أجل عينات اللبن المتخمر بعد 24 ساعة

الجدول (8): تغيرات قيم اللون في العينات

عينات اللبن المتخمر وفقاً لنسب إضافة السبيروولينا				اللون
0%	0.3%	0.5%	0.7%	
89.90	77.96	76.96	70.10	L^*
0.26	-7.18	-8.69	-9.62	a^*
11.17	1.79	-0.47	-0.48	b^*

L^* : يشير إلى السطوع، a^* : يشير الرمز a^+ إلى اللون الأحمر أما الرمز a^- إلى اللون الأخضر: b^* يشير الرمز b^+ إلى اللون الأصفر أما الرمز b^- إلى اللون الأزرق.

سُجّلت عينة الشاهد قيمة موجبة مرتفعة نسبياً ($b^* \approx 11.17$)، تعكس الميل الطبيعي للبن نحو الاصفرار. ومع إضافة السبيروولينا، انخفضت القيمة إلى 3.68 عند 0.3% ثم أصبحت سالبة تقريباً عند 0.5% (-0.47) و0.7% (-0.48)، مما يشير إلى تراجع الاصفرار وتحول طفيف نحو الطيف الأزرق - الأخضر.

• النشاط المضاد للأكسدة:

أظهرت نتائج الجدول (9) ارتفاعاً ملحوظاً في النشاط المضاد للأكسدة في العينات المدعمة بالسبيروولينا مقارنة بعينة الشاهد، (بعد 24 ساعة من التخمر). وقد ازداد النشاط المضاد للأكسدة طردياً مع زيادة نسبة السبيروولينا، حيث سجلت عينة 0.7% أعلى قيمة، تلتها 0.5% ثم 0.3% بينما أظهرت عينة الشاهد أقل نشاط.

يمكن تفسير هذه الزيادة بكون السبيروولينا مصدراً غنياً بالمركبات الحيوية الفعالة، وعلى رأسها صبغة الفيكوسيانين (Phycocyanin)، والكاروتينات، والمركبات الفينولية، إضافة إلى بعض الببتيدات ذات النشاط المضاد للأكسدة.

تم قياس النشاط المضاد للأكسدة للعينات (بعد 24 ساعة من التخمر)

الجدول (9): قيم مضادات الأكسدة في نهاية التخمر اللبني

نسبة السبيروولينا المضافة %	قيمة مضادات الأكسدة %
0	22±1.5D
0.3	38±2.0C
0.5	46±2.3B
0.7	52±2.6A

القيم المعبر عنها تمثل المتوسط $\pm$ الانحراف المعياري، تشير الأحرف المختلفة ضمن العمود الواحد إلى وجود فروق معنوية عند مستوى دلالة ($P \leq$)

(0.05).

• نتائج الاختبارات الميكروبيولوجية:

توضح النتائج المبينة في الجدول (10) تأثير إضافة السبيروولينا بتركيزات مختلفة في نمو بكتيريا حمض اللبن أثناء التخمر اللبني عند درجة حرارة 37°C ولمدة 24 ساعة باستخدام نسبة مرتفعة من البادئ اللبني بلغت 3%. وقد أظهرت النتائج أن إضافة السبيروولينا أدت إلى تحسن تدريجي في أعداد العصيات اللبنية، حيث سُجّلت أعلى القيم بعد 24 ساعة عند تركيز 0.5% سبيروولينا 8.6 ± 0.15 مع وجود فرق معنوي واضح ($P < 0.05$) مقارنة بالعينة الشاهدة، بينما لم تُظهر التركيزات الأخرى (-0.3% و0.7%) فروقاً معنوية واضحة، إذ جاءت ضمن المجموعة الإحصائية الوسيطة (Ba).

ويُعزى هذا التأثير التحفيزي عند تركيز 0.5% إلى التكامل بين الأعداد العالية للبكتيريا الناتجة عن زيادة نسبة البادئ، وتوفر المركبات النشطة بيولوجياً في السبيروولينا، ولا سيما البروتينات والحموض الأمينية والفيتامينات، مما يعزز النشاط الاستقلابي ويُحسن من كفاءة الانقسام الخلوي. في المقابل، لم تُظهر المكورات اللبنية فروقاً معنوية بين مختلف تركيزات السبيروولينا ويُعزى هذا السلوك إلى الخصائص الفسيولوجية للمكورات اللبنية، ولا سيما سرعتها العالية في النمو خلال المراحل الأولية من التخمر وقدرتها على استهلاك اللاكتوز بكفاءة عالية، مما يقلل من اعتمادها على الإضافات الغذائية الخارجية.

يظهر الجدول (10) تغير أعداد البكتيريا اللبنية (العصيات والمكورات) في عينات اللبن المتخمر وفقاً للأزمنة ونسب إضافة السبيروولينا المختلفة:

الجدول (10): أعداد العصيات والمكورات اللبنية وفقاً للأزمنة ونسب السبيرولينا المختلفة.

نسبة البادئ اللبني المضاف (%)	الزمن (h)	نسبة السبيرولينا المضافة (%)	أعداد العصيات اللبنية (Logcfu/ml)	أعداد المكورات اللبنية (Logcfu/ml)
3%	0	0	6.7±0.05Ad	6.7±0.05Ad
		0.3	6.7±0.05Ad	6.7±0.05Ad
		0.5	6.7±0.05Ad	6.7±0.05Ad
		0.7	6.7±0.05Ad	6.7±0.05Ad
	3	0	7±0.10Ac	6.7±0.10Ac
		0.3	7.1±0.10BcC	6.9±0.10Bc
		0.5	7.2±0.10Cc	7.1±0.10Cc
		0.7	7±0.10Ac	6.9±0.10Bc
	6	0	7.5±0.12Ab	7.3±0.12Ab
		0.3	7.5±0.12Ab	7.6±0.12Bb
		0.5	7.8±0.12Bb	7.8±0.12Cb
		0.7	7.6±0.12Ab	7.5±0.12Bb
	24	0	8.3±0.15Aa	8.1±0.15Aa
		0.3	8.5±0.15Ba	8.4±0.15Ba
		0.5	8.4±0.15Ba	8.6±0.15Ca
		0.7	8.2±0.15Aa	8.3±0.15Ba

القيم المعبر عنها تمثل المتوسط $\pm$ الانحراف المعياري، تشير الأحرف الكبيرة المختلفة إلى وجود فروق معنوية بين نسب السبيرولينا المختلفة ضمن نفس الزمن حيث ترمز C للأعلى و A للأنفل، بينما تشير الأحرف الصغيرة إلى وجود فروق معنوية بين الأزمنة المختلفة (a $\rightarrow$ b $\rightarrow$ c $\rightarrow$ d) كل ما زاد الزمن $\rightarrow$ زاد النمو البكتيري، وذلك عند مستوى دلالة ($P \leq 0.05$).

• نتائج الاختبارات الحسية:

يظهر الجدول (11) تأثير إضافة السبيرولينا في عينات اللبن المتخمر بنسب - (0.3-0.5-0.7%) من الناحية الحسية بعد 24 ساعة من بدء التخمر.

الجدول (11): نتائج الاختبارات الحسية للعينات وفقاً للدرجات

نسبة إضافة السبيرولينا (%)	اللون	الطعم	الرائحة	قبول عام
0	6C	5C	6C	6C
0.3	9A	9A	9A	10A
0.5	9A	9A	9A	10A
0.7	4D	7B	7B	8B

تشير الأحرف المختلفة ضمن العمود الواحد إلى وجود فروق معنوية بين المعاملات عند مستوى دلالة ($P \leq 0.05$).

تُعطى كل صفة الدرجة 10 حيث الدرجات: 1-4: غير محبوب، 5-6: طبيعي، 7-8: جيد، 9-10: جيد جداً.

- عينة **Spirulina 0.3%**: طعم حامضي خفيف واللون الأخضر خفيف مع رائحة لطيفة.
- عينة **Spirulina 0.5%**: الطعم حامضي ويوجد نكهة مميزة مع رائحة لطيفة واللون الأخضر الواضح وهذه المواصفات مقبولة.
- عينة **Spirulina 0.7%**: الطعم حامضي ويوجد نكهة مميزة مع رائحة قوية ولطيفة واللون الأخضر أكثر وضوحاً وهذه المواصفات ممكن أن تكون غير محببة لبعض الأشخاص ولكنها مقبولة للبعض.

أظهرت النتائج وجود فروق معنوية ($P \leq 0.05$) بين المعاملات في جميع الصفات الحسية المدروسة. حيث سجلت المعاملتان 0.3% و 0.5% أعلى القيم في اللون والطعم والرائحة والقبول العام دون وجود فروق معنوية بينهما، بينما سجلت عينة الشاهد قيماً أقل بشكل معنوي، في حين أظهرت عينة 0.7% انخفاضاً معنوياً في صفة اللون والقبول العام مقارنة بالمعاملات الأخرى. ويُعزى التحسن في الصفات الحسية عند النسب المنخفضة من السبيرولينا (0.3-0.5%) إلى احتوائها على مركبات نشطة حيويًا تساهم في تحسين النكهة وتعزيز القبول الحسي، في حين أن زيادة التركيز إلى 0.7% أدت إلى ظهور لون أخضر أكثر شدة ورائحة أقوى قد تكون غير مرغوبة لبعض المستهلكين، مما انعكس سلباً على القبول العام.

الاستنتاجات:

1. أدت إضافة السبيرولينا بتركيز مختلفة (0.3-0.5-0.7%) مع بادئ 3% إلى زيادة وتحسين محتوى البروتين في العينات بمقدار 3.85%, 3.65%, 3.45\$ مع الحفاظ على استقرار الدسم.
2. أدت إضافة السبيرولينا مع بادئ 3% إلى انخفاض تدريجي في الكربوهيدرات بسبب استهلاك اللاكتوز أثناء نمو البكتيريا، وهو تأثير متوقع ضمن عملية التخمر اللبني.
3. أدت إضافة السبيرولينا مع بادئ 3% إلى تغيرات لونية واضحة، حيث أصبح اللون أغمق (انخفاض L^*) وتحولت القيم اللونية a^* و b^* نحو الأخضر، مع بقاء التغيرات ضمن الحدود المقبولة حسيًا.
4. أدت إضافة 0.5% سبيرولينا مع بادئ 3% إلى زيادة النشاط المضاد للأكسدة للبروتين من $22 \pm 1.5\%$ إلى $46 \pm 2.3, 38 \pm 2.0\%$ أي بمقدار 109%.
5. أدت إضافة تراكيز مختلفة من السبيرولينا إلى تنشيط وتعزيز نمو بكتيريا حمض اللبن بنوعيه العصوية والكروية وكانت هذه الزيادة معنوية بالنسبة للعصيات بينما لم تسجل أي فروق معنوية بالنسبة للمكورات في جميع المعاملات.
6. سجلت إضافة 0.5% سبيرولينا مع بادئ 3% أفضل زيادة في أعداد العصيات اللبنية بنسبة 27% حيث ازدادت من $6.75 \pm 0.15 \log cfu/ml$ في عينة الشاهد إلى $8.6 \pm 0.14 \log cfu/ml$ بعد 24 ساعة.
7. أدت إضافة 0.3-0.5% سبيرولينا مع بادئ 3% إلى تحسين القيمة الغذائية العامة للمنتج دون التأثير على الدسم، مع دعم الفوائد الصحية المحتملة عبر مضادات الأكسدة والبروتين.

التوصيات:

1. يوصى بتعزيز المنتجات اللبنية التقليدية بالسبيرولينا لتحسين القيمة الغذائية والوظائف الصحية المحتملة للبروبيوتيك والحفاظ على حيوية ونشاط البكتيريا.
2. استخدام السبيرولينا كمكمل غذائي في اللبن بإضافة 0.3-0.5% سبيرولينا مع بادئ لبني 3% لتعزيز النشاط البكتيري أثناء فترة التخمر اللبني وزيادة محتوى البروتين والمضادات الأكسدة دون التأثير على الدسم أو القوام وعدم تجاوز 0.7% لتجنب التأثير السلبي المحتمل على نمو البكتيريا أو تغير اللون بشكل كبير.

3. يوصى إدراج السبيرولينا ضمن الأغذية اليومية للإنسان للاستفادة من مكوناتها في الحفاظ على الصحة العامة ورفع كفاءة الجسم مع ضرورة التنويه لاحتواء المنتج على هذا النوع من الطحالب لتجنب تناوله ممن يعانون من الحساسية تجاه المأكولات البحرية أو الطحالب.

المراجع:

- صادق، شريف، 2005 - الأحياء الدقيقة الصناعية. منشورات جامعة البعث، مديرية الكتب والمطبوعات الجامعية.
- عطرة، رمضان، 2017-تقانة الألبان 2. منشورات جامعة البعث، مديرية الكتب والمطبوعات الجامعية.
- Abdelkebir, R.; Barkallah, M., Fendri, I., Abdelkafi, S., Fendri, M (2020)- Effect of *Spirulina platensis* addition on fermentation kinetics and quality of probiotic yogurt. *Journal of Food Science and Technology*, 57(3), 1031–1039
- Agustini, T.W., Soetrisnanto, D. and Ma'ruf, W.F (2017)- Study on chemical, physical, microbiological and sensory of yoghurt enriched by *Spirulina platensis*. *International Food Research Journal* 24(1): 367-371 (February 2017).
- Ahsan, M and Habib, B. (2008)- A review on culture production and use of spirulina as food for human and feeds for domestic animal and fish, *FAO Fisheries and aquaculture circular*, Rome Italy.
- AOAC (2000). *Official Methods of Analysis of AOAC International* (21st ed.). Gaithersburg, MD, USA: AOAC International.
- AOAC (2019). *Official Methods of Analysis of AOAC International* (21st ed.). Gaithersburg, MD, USA: AOAC International.
- Beheshtipour, H., Mortazavian, A. M., Haratian, P., and Safari, M. (2012)- Effects of *Spirulina platensis* on the growth of probiotic bacteria in fermented milk. *Food Science & Technology*.
- Çelekli, A., Alslibi, Z. A., and üseyin Bozkurt, H. (2019)- Influence of incorporated *Spirulina platensis* on the growth of microflora and physicochemical properties of ayran as a functional food. *Algal Research*, 44, 101710.
- Colla, L. M., Bertolin, T.E., & Costa, J.A.V (2017)- "Spirulina biomass and bioproducts: Potential applications." *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 97(2), 306–320
- Debbabi H., Boubaker B., Gmati T., Chouaibi M., Boubaker A., Snoussi A, (2019)- Yogurt enrichment with *Spirulina* (*Arthrospira platensis*): effect on physicochemical, textural properties and consumers acceptance. *J. Food Process Preserv.* 43(9); e14036.
- Golmakani, M.-T., Soleimani-Zad, S., Alavi, N., Nazari, E., & Eskandari, M. H. (2019). Effect of *Spirulina* (*Arthrospira platensis*) powder on probiotic bacteriologically acidified feta-type cheese. *Journal of Applied Phycology*, 31 (2), 1085-1094.
- Lucas, B. F., de Moraes, M. G., Santos, T. D., & Costa, J. A. V. (2018). *Spirulina* for snack enrichment: Nutritional, physical and sensory evaluations. *LWT – Food Science and Technology*, 90, 270–276.
- Malik, p., Kempanna, c, Murthy, n and Anjum, (2013)- quality characteristics of yoghurt enriched with spirulina powder. *mysore j. agric. sci.*, 47 (2): 354-359, 2013.

- Parada, J. L., Zulpa de Caire, G., Zaccaro de Mulé, M. C., & Storni de Cano, M. M. (1998) .Lactic acid bacteria growth promoters from *Spirulina platensis*. *International Journal of Food Microbiology*, 45(3), 225–228.
- Soni, R. A., Sudhakar, K., & Rana, R. S. (2017) .*Spirulina* – From growth to nutritional product: A review .*Trends in Food Science & Technology*, 69, 157–171.
- Suresh, K., Sharma, D., & Prasad, R. (2021)- Sensory Evaluation and Nutritional Analysis of *Spirulina* Fortified Dairy Products. *Journal of Food Science and Technology*, 58(5), 1342-1350.
- Yildirim, A., Mavi, A., & Kara, A. A. (2001)- Determination of antioxidant and antimicrobial activities of *Rumex crispus* L. Extracts. *Journal of Agricultural Food Chemistry*, 49, 4083–4089. ACCEP

Production of *Spirulina*-enriched fermented yogurt and evaluation of its chemical, physical, microbiological, and sensory properties

Katia Amer Elias^{1*}, Abdul Wahab Sino Marai² and Sharif Hassan Sadiq²

¹ Food Engineering Department, Faculty of Chemical and Petroleum Engineering, University of Homs, Syria.

² Food Science Department, Faculty of Agriculture, University of Damascus, Syria.

(*Corresponding author: Katia Amer Elias, Email: Katia.elias9118@gmail.com, Mob: 0987044624)



Received: 11/ 3/ 2026

Accepted: 21 / 6/ 2026

Abstract

A series of experiments were conducted at Homs University, within the laboratories of the Food Engineering Department, Faculty of Chemical and Petroleum Engineering, on the fortification of yogurt. Yogurt made from cow's milk served as a control, while samples of milk were added to spirulina at 37°C at a concentration of 0.3%, 0.5%, and 0.7%. Fermentation continued for 24 hours, during which the counts of both bacilli and lactic acid bacteria were recorded. After fermentation at a pH of 4.6, all samples were evaluated sensory, chemical, and physically. The results showed that fortifying yogurt with spirulina activated lactic acid bacteria and increased protein and antioxidant levels in the studied samples with increasing spirulina concentration, without significantly affecting fat content. Carbohydrates, thus increasing the nutritional value of the milk and improving its physical and chemical properties, showed that milk samples fortified with 0.5% spirulina exhibited higher sensory acceptance compared to other treatments. Both bacilli and spheroids recorded the highest growth rates, reaching 8.6 logcfu/ml and 8.4 logcfu/ml, respectively. The amount of lactic acid formed after 24 hours increased from 0.9% to 1.1%, while the protein content rose to 3.30% → 3.65%, and antioxidants increased from 22 ± 1.5% → 46 ± 2.3%, respectively.

Keywords: Lactic acid fermentation, spirulina, nutritional value, fortified fermented milk.