تأثير السبيرولينا (Spirulina) في الخصائص الفيزيائية والكيميائية والحسية للبن الرائب

كاتيا الياس [1] عبد الوهاب مرعي[2] شريف صادق [2]

الملخص:

تمّ في هذا البحث دراسة التأثيرات الفيزيائية ،الكيميائية والحسية لإضافة السبيرولينا بنسب (0.1%- 0.3%-0.5%-0.7%-0.9%) إلى اللبن المتخمر من حيث التغيرات في التركيب الكيميائي، الخواص الحسية، القوام،اللون، الحموضة، والقيمة الغذائية.

أجريت تجارب التخمر اللبني على الحليب البقري كتجربة شاهد وعينات الحليب المضاف إليه سبيرولينا بالنسب السابقة عند الدرجة 45°C وبإضافة البادئ اللبني بنسبة 3%، بعد انتهاء التخمر اللبني عند قيمة الحموضة (pH) 4.6 تم تقييم جميع العينات حسياً و كيميائياً و فيزيائياً، و تبين من النتائج أن تدعيم اللبن بالسبيرولينا أدى إلى ارتفاع نسبة الدسم، البروتين ،المواد الصلبة والمواد الصلبة اللادهنية في العينات المدروسة بزيادة تركيز السبيرولينا المضاف وبالتالي رفع القيمة الغذائية للبن و تحسين الخواص الفيزيائية والكيميائية ، كما أدت هذه الإضافات إلى تقليل وقت التخثر (الترويب) وكمية المصل المنفصل.

أظهرت عينات اللبن المدعم بنسبة 0.5% سبيرولينا قبولاً حسياً أعلى مقارنة بالمعاملات الأخرى لذلك يمكن اعتماد نسبة 0.5% كنسبة إضافة مناسبة لإنتاج لبن متخمر مرتفع القيمة الغذائية.

[1] طالبة دكتوراه في قسم الهندسة الغذائية–كلية الهندسة الكيميائية والبترولية–جامعة حمص

[2] أستاذ في قسم علوم الأغذية– كلية الزراعة–جامعة دمشق.

[3] أستاذ في قسم الهندسة الغذائية–كلية الهندسة الكيميائية والبترولية–جامعة حمص.

The Effect of Spirulina on the Physical, Chemical, and Sensory Properties of Yogurt

Katia Elias[1] **Abdul Wahab Marei**[2] **Sharif Sadik**[2]

Abstract:

This study investigated the physical, chemical, and sensory effects of adding Spirulina at concentrations of (0.1%, 0.3%, 0.5%, 0.7%, 0.9%) to fermented yogurt, focusing on changes in chemical composition, sensory properties, texture, color, acidity, and nutritional value.

Fermentation experiments were conducted on cow's milk as a control sample, along with milk samples supplemented with Spirulina at the specified concentrations. The fermentation was carried out at 45°C with the addition of a 3% lactic starter. After fermentation was completed at pH = 4.6, all samples were evaluated physically, chemically, and sensorialy.

The results showed that fortifying yogurt with Spirulina increased fat content, protein, total solids, and non-fat solids in the studied

samples, with a higher Spirulina concentration leading to improved nutritional value and enhanced physical and chemical properties. Additionally, these additions reduced coagulation (curdling) time and the amount of separated whey.

Yogurt samples fortified with 0.5% Spirulina received the highest sensory acceptance compared to other treatments. Therefore, a 0.5% Spirulina addition can be considered an optimal concentration for producing high-nutritional-value fermented yogurt.

Keywords: Lactic Fermentation,Spirulina , Nutritional value ,Fortified fermented yogurt.

(1) PhD student at Food Engineering Department- Faculty of Chemical and Petroleum Engineering-Homs University

(2) Professor at Food Science Department- Faculty of Agriculture-Damascus University

(3) Professor at Food Engineering Department- Faculty of Chemical and Petroleum Engineering-Homs University

أولاً: المقدمة و الدراسة المرجعية:

عرف الإنسان منذ زمن بعيد أن الحليب يتخمر ويصبح ذا طعم حامض بعد الحصول عليه من ضـــرع الحيوان اللبون بوقت قصـــير، وهذا الحليب الحامضـــي يمكن حفظه والتغذية عليه لعدة أيام دون أن تحصـل فيه تغيرات غير مرغوبة. كما اكتشـف الإنسـان أن عملية التخمر هذه تسـاهم في حفظ الحليب وحمايته من الفسـاد بفعل البكتيريا المحللة لبروتين الحليب وبعض أنواع البكتيريا التي لا تســتطيع النمو في الأوســاط الحامضــية (عطرة.، 2014) (Yerlikaya et al., 2023) ، و يعرف اللبن المتخمر بـأنـه منتج ألبان غني بالمغذيات ويحتوي على بكتيريا نافعة تعزز الصـحة الهضـمية والمناعية. وفقاً للتشـريع الغذائي لمنظمة الأغذية والزراعة الدولية FAO ومنظمة الصـحة OMS عام 1977 يصـــنع اللبن الرائـب عن طريق تخمر الحليـب بفعـل بكتيريـا حمض اللبن المخصـــصـــــة وأهمهـا : *Lactobacillus Bulgaricus , Streptococcus Thermophilus* المضـافة إلى الحليب المبسـتر والمركز جزيئاً أو المتعرض لعملية فرز جزئية مع أو بدون مســـحوق الحليب ويجب أن تبقى البكتيريا في المنتج النهائي على الحالة الحية وبعدد كبير حيث تخمر سـكر اللاكتوز ويتم إنتاج حمض اللبن وفق المعادلة :

$$C_6H_{12}O_6 = 2CH_3CHOHCOOH + 2CO_2$$

بالإضـافة إلى مركبات أخرى مثل : حمض السـكسـينيك ، حمض الخل والكحول الإيتيلي .... بتوفر شروط مناسبة من حرارة ورطوبة وغذاء (صادق.،2005).

زاد الاهتمام مؤخراً بتنشيط البادئ اللبني ورفع القيمة الغذائية للبن المتخمر من خلال إضافة مكونات ذات قيمة صحية عالية، مثل الطحالب الدقيقة (الإشنيات microalgae) ، تعد السبيرولينا واحدة من أشهر هذه الطحالب، حيث تحتوي على نسبة عالية من

البروتينات، الفيتامينات، المعادن، والأحماض الأمينية الأساسية (Narayana and Kale.,2019).

تعتبر السبيرولينا من الأشنيات الخضراء المزرقة التي تتواجد في الماء، ويُعتقد أول خلية نبتت على وجه الأرض قبل 3.5 مليار سنة وهي 24000 نوع ،ولكن لا يصلح للأكل سوى نوعان فقط هما S.platensis و S.maxima، يعد هذان النوعان من أكثر الأنواع شيوعاً في الاستهلاك البشري كمضاف غذائي ، لسهولة هضمهما ، وافتقارهما لوجود السيللوز في الجدر الخلوية ، ويعد تناولهما آمن ، فهما لا يؤديان إلى أي تأثيرات جانبية ملحوظة(Ahsan and Habib.,2008) .

تأتي أهمية السبيرولينا كونها غذاء قلوي يحافظ على pH الجسم في حالة توازن مثالية ، يحتوي على أكثر من 100 عنصر غذائي كالحموض الأمينية التي تتراوح ما بين 70%-65% بروتين كامل ، و يعادل أكثر من 4-3 أضعاف السمك أو اللحم ، كما تحتوي على الفيتامينات أهمها B_{12} أكثر بـ 4 مرات من الكبد ، و عدد كبير من الصبغات المهمة مثل الكلوروفيل و البيتا كاروتين بالإضافة إلى مجموعة كبيرة من الأملاح المعدنية ومحتواها من الحديد أعلى بـ 58 ضعفاً من السبانخ ، و28 مرة من كبد البقر الطازج (Ahsan and Habib.,2008) هذه الأسباب شجعت على دمجها مؤخرًا في صناعة الأغذية، والمضافات العلفية، والطب، والقطاع الصيدلاني. لغناها بالمكونات الغذائية العالية (Hoseini et al.,2013).

أوصت كل من الإدارة الوطنية للملاحة الجوية والفضاء (ناسا) ووكالة الفضاء الأوروبية (ESA)، باستخدام السبيرولينا كأحد الأطعمة الرئيسية خلال مهمات الفضاء طويلة المدى ، حيث عندما تتحول الخلايا الطحلبية أو خيوط سبيرولينا إلى مسحوق ، يمكن أن تمنح الأساس لمجموعة متنوعة من المنتجات الغذائية ، مثل الحساء و الصلصات ،الألبان

المتخمرة ،المعكرونة والأطعمة الخفيفة ،المشروبات سريعة التحضير .النودلز والبسكويت والكعك والوصفات الأخرى (Ahsan and Habib.,2008) .

إضافة السبيرولينا إلى اللبن الرائب :

استفاد(Malik et al., 2013) من القيمة الغذائية العالية للسبيرولينا كونها مصدر غني بالأحماض الأمينية والدهون الأساسية وغيرها من العناصر و أضافها إلى اللبن المتخمر بنسب (0.5%-0.3%-0.2%-0.1%) بهدف تحسين القيمة الغذائية والوظيفية للبن دون التأثير السلبي على جودته الحسية لاحظ الباحث زيادة محتوى البروتين والدهون والحديد ، تحسن قوام الخثرة و كذلك زيادة في الحموضة وانخفاض في وقت الإعداد مع زيادة التركيز، كما منحت السبيرولينا اللبن لونًا أخضر فاتحًا طبيعيًا. حصل اللبن المحتوي على 0.3% سبيرولينا على درجات مقاربة للبن العادي من حيث القبول الحسي، مع احتفاظه بالبكتيريا اللبنية بنسبة أعلى أثناء التخزين عند4م°.

استخدم (Barkallah et al., 2017) السبيرولينا كمكون طبيعي لتدعيم اللبن بالعناصر الغذائية بأربع نسب مختلفة (1%,0.75%,0.5%,0.25%) أدى استخدام 0.25% من السبيرولينا إلى تسريع عملية التخمير مع الحفاظ على القبول الحسي وزيادة النشاط المضاد للأكسدة. كما أظهرت الاختبارات قدرة أعلى على الاحتفاظ بالماء وانخفاضًا في ظاهرة انفصال مصل اللبن و ثباتًا عاليًا للون خلال 28 يومًا من التخزين. وخلال هذه الفترة، أظهر اللبن الملون تغيرات طفيفة جدًا في مؤشرات اللون *L، *a، و *b، مما يعكس الثبات القوي للون سبيرولينا بفضل محتواه العالي من الصبغات، بالتالي يمكن استخدام السبيرولينا لتطوير لبن مدعم بالمركبات الحيوية النشطة كبديل صحي عن الإضافات الصناعية، مما يجعله منتجًا غذائيًا مفيدًا يلبي رغبات المستهلكين.

أضاف(Agustini et al.,2017) S. platensis بنسب (0.5%-0.75%-1%-2%-3%) بهدف تحديد أفضل تركيز للسبيرولينا في اللبن ومراقبة خصائصه الكيميائية والفيزيائية والميكروبيولوجية والحسية. ووفقًا للنتائج، كان أفضل تركيز مضاف هو 1%، حيث تم قبوله من قبل لجنة التذوق وفقًا لاختبار التفضيل الحسي .بعد ذلك، تم مقارنة أفضل عينة (1% S. platensis) مع عينة الشاهد (0% S. platensis)، أظهر اللبن المدعم بإضافة 1% من S. platensis اختلافًا معنويًا عن عينة الشاهد من حيث محتوى البروتين، اللزوجة، وإجمالي بكتيريا حمض اللاكتيك، لكنه لم يظهر أي اختلاف من حيث محتوى الماء، الرماد، الكربوهيدرات، الدهون، إجمالي حمض اللاكتيك، درجة الحموضة، التقييم الحسي، كما أنه توافق مع المواصفات القياسية الوطنية الإندونيسية.

أشار (Debbabi et al., 2019) إلى إمكانية تعزيز القيمة الغذائية للبن دون التأثير على خصائصه الحسية من خلال إضافة السبيرولينا بنسب تتراوح بين (0.5%-0.1%) إلى الحليب المبستر قبل التخمر اللبني حيث زادت البروتينات حتى 46% والمعادن 23% عند إضافة (0.24%-0.12%) سبيرولينا دون التأثير على درجة الحموضة أو معدل انفصال المصل.

ثانياً: هدف البحث:

هدف البحث إلى:

1. دراسة تأثير السبيرولينا في الخصائص الفيزيائية والكيميائية والحسية للبن المتخمر .

2. تحديد التركيز المفترض من السبيرولينا بهدف رفع القيمة الغذائية للبن و إمكانية الحصول على منتج جديد مقبولاً لدى المستهلكين .

ثالثاً: المواد وطرائق البحث:

3-1- المواد المستخدمة:

لإنجاز هذا البحث استخدمت المواد التالية :

1- سبيرولينا (Spirulina platensis) إنتاج شركة Dxn الماليزية، :تم الحصول عليها بإكثار الإشتيات بمزارع خاصة في ماليزية (مستوردة).

2-حليب بقري مبستر مجنس مضبوط الدسم 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) إنتاج مختبرات شركة أمنة-سوريا-حمص-مدينة حسياء الصناعية والمكون من بكتيريا *Lactobacills bulgaricus* , *Streptococcus thermophiles* بنسبة 1;1.

4-المواد الكيميائية الضرورية لعملية تحليل كل من الحليب وعينات اللبن (ماءات الصوديوم -ميتانول-حمض الكبريت المركز-قورمول).

- الأجهزة و الأدوات الكهربائية اللازمة لعملية التحضير و التحليل:

جدول (1) الأجهزة و الأدوات الكهربائية اللازمة

اسم الجهاز	الموديل
مجفف	Raypa
حمام مائي	شاشة رقمية Memert
مرمدة	Kelvin
جهاز قياس درجة الحموضة pH	M Milwiukee
حاضنة	J.B Selecta
حاضنة	Heraeus
جهاز قياس اللون	Spectrophotometer CM-5 Uv, Visible light
الأوتوغلاف	Raypa

3-2-الطرائق المستخدمة:

3-2-1-تجربة التخمر اللبني:

خطوات العمل :

1-أُخذ 1000ml من الحليب البقري ووضـــع في حمام مائي مع مراقبة درجة حرارة الحليب حتى تصبح 95م° ، تُرك عند هذه الدرجة لمدة 5 دقائق من أجل عملية البسترة .

2- تم تقسيم الحليب لعدة عينات (كل عينة 100ml) وعند انخفاض درجة الحرارة إلى 45م°تمت إضافة السبيرولينا بنسبة %(0-0.1-0.3-0.5-0.7-0.9) مع التحريك والمزج بشكل جيد حتى التأكد من ذوبان كامل الكمية.

3- أُضيف البادئ اللبني بنسبة 3% لكل عينة (بعد ذوبان السبيرولينا والتأكد من درجة حرارة الحليب45م°) مع التحريك ببطء بعدها تم نقل محتوى البيشـــر إلى العبوات الزجاجية المعقمة مسبقاً و أغلقت بشكل جيد وسُميت العينات وفق الجدول (2) :

الجدول(2) تسمية عينات اللبن وفق نسب السبيرولينا المضافة قبل التخمر اللبني.

رمز العينة	العينة
A	حليب خام
B	حليب متخمر(لبن)
C	حليب متخمر + 0.1% سبيرولينا

D	حليب متخمر + 0.3% سبيرولينا
E	حليب متخمر + 0.5% سبيرولينا
F	حليب متخمر + 0.7% سبيرولينا
G	حليب متخمر + 0.9% سبيرولينا

4-وُضعت العبوات في الحاضنة بدرجة حرارة 45°م مدة 3-4ساعات مع مراقبة قيمة pH بشكل مستمر كل ساعة حتى pH=4.6 ، وكذلك تمت عملية التخثر مع مراقبة دائمة لدرجة حرارة الحاضنة .

5- نُقلت العينات من الحاضـــنة لجو الغرفة الداخلي و تُركت حتى انخفضـــت درجة حرارتها لدرجة حرارة الغرفة.

6-حُفظت العينات في البراد عند الدرجة 4°م (مقاس بميزان حرارة) إلى اليوم التالي بعدها تم إجراء الاختبارات الكيميائية والفيزيائية مع أخذ الحذر في العمل والسرعة في الانجاز تحسباً لأي تغير في مواصفات اللبن المتخمر نتيجة تعرضه للظروف الجوية العادية.

3-2-2-الاختبارات الفيزيائية والكيميائية:

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

- **الرطوبة:** بطريقة التجفيف عند الدرجة 105°م حتى ثبات الوزن. (AOAC 1990).
- **المادة الدسمة:** وفق طريقة جربر (AOAC 1990).
- **تقدير البروتينات:** وفق طريقة كلدال (AOAC 1990).
- **الكازئين** : وفق (Mourad1.,2014).
- **الرماد** : وفق (Mourad1.,2014).
- **رقم الحموضة (pH):** باستخدام مقياس pH meter.
- **الحموضة المعايرة:** وفق طريقة المعايرة بمحلول 0.01N NaOH وحسابها كنسبة مئوية مقدرة على أساس حمض اللبن.
- **الكربوهيدرات** : وفق (Mourad1.,2014).
- **تقدير نسبة المصل المنفصل** (AL-Kadmany et al.,2003) .
- **اختبار اللون:** باستخدام جهاز Spectrophotometer CM-5.

3-2-3- 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 المتخمر .

وفقاً لذلك تم إجراء عملية تقييم حسي للعينات (اللون-الطعم-الرائحة-القبول العام) من قبل مجموعة من الأشخاص المتذوقين وفق (Suresh et al.,2021).

رابعاً: النتائج والمناقشة:

4-1-نتائج الاختبارات الكيميائية:

- يبين الجدول (3) التركيب الكيميائي للحليب البقري المستخدم.

الجدول(3): التركيب الكيميائي للحليب البقري المستخدم

المكونات	الحليب البقري وزناً
الرطوبة	87.67±0.1
المادة الصلبة	12.33±0.1
البروتين	3.31±0.1
الكازئين	2.64±0.1
المادة الدسمة	3.7±0.1
الكربوهيدرات	4.8±0.1
الرماد	0.52±0.05
رقم pH	6.72±0.1
الحموضة الكلية	0.18±0.01

- يبين الجدول (4) التركيب الكيميائي للسبيرولينا المستخدم.

الجدول (4): التركيب الكيميائي للسبيرولينا وفقاً للشركة المنتجة

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

فيتامينات	0.75		

4-2-نتائج الاختبارات الفيزيائية :

تمت عملية تقييم عينات اللبن المدروسة (B,C,D,E,F,G) باستخدام جهاز Spectrophotometer CM-5 بعد معايرة الجهاز، تم تحديد متوسط القيمة من خلال أخذ 3 قراءات للعينة نفسها ثم تمّ تسجيل قيم*L*,a*,b،

- يبين الجدول (5) التغيرات في قيم اللون لـ عينة اللبن المتخمر B وعينات اللبن المتخمر المدعم بالسبيرولينا (C,D,E,F,G).

الجدول (5): تغيرات قيم اللون في العينات B,C,D,E,F,G

اللون	**العينات**					
	0%	**0.1%**	**0.3%**	**0.5%**	**0.7%**	**0.9%**
L*	89.90	82.80	77.96	76.96	70.10	67.44
a*	0.26	-5.87	-7.18	-8.69	-9.62	-10.45
b*	11.17	3.68	1.79	-0.47	-0.48	-0.90

***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.

قياس لون عينات اللبن الرائب:

نظرًا للتأثير المهم لألوان منتجات الألبان على قبول المستهلك (Dönmez et al., 2017)، تم قياس معايير اللون (*L، a*، و b*) لعينات اللبن (الجدول). يوضح الجدول (5) تغيرات مؤشر L* (السطوع) مع فترة التخزين (15 يومًا) لكل من اللبن العادي واللبن المدعم بـ سبيرولينا.

تشير قيم L* إلى أن عينة اللبن العادي (B) تمتلك درجات سطوع أعلى مقارنةً بعينات اللبن المدعمة بالسبيرولينا C,D,E,F,G. بالنسبة لهذه العينات، كانت الفروقات المرتبطة بمؤشر L* منخفضة مما يشير إلى أن الملون المستخدم في هذه الدراسة لم يُظهر ميلًا لتفتيح لون العينات خلال 15 يومًا من التخزين

تشير قيم a^- إلى اللون الأخضر و قيم b^- إلى اللون الأزرق يظهر الجدول (3) أن قيم a^- و b^- في العينات تزداد مع زيادة نسبة السبيرولينا لتكون أعلى قيمة في العينة G التي تحوي 0.9% سبيرولينا مقارنة مع عينات C,D,E,F الحاوية على سبيرولينا وعينة اللبن المتخمر B ،يمكن تفسير ذلك بشكل أساسي بفضل غنى السبيرولينا بالكلوروفيل، بناءً على تقييم النتائج حول معايير اللون المدروسة، يمكننا القول إن أصباغ سبيرولينا قد تكون مفيدة كملونات طبيعية في منتجات الألبان.

- يبين الجدول (6) تأثير إضافة السيرولينا في قيم (الحموضة – رقم الحموضة– كمية المصل المنفصل –زمن التخثر) لكل من عينة اللبن المتخمر B وعينات اللبن المدعم بالسبيرولينا C,D,E,F,G.

الجدول (6): تأثير إضافة السيرولينا في قيم كل من (الحموضة–رقم الحموضة–كمية المصل–زمن التخثر للعينات (B–C–D–E–F).

تركيز السبيرولينا	pH	كمية المصل المنفصل(مل)	زمن التخثر(hr)	حمض اللبن الكلي
0%(B)	4.6	10	4hr	0.741
0.1%(C)	4.6	10	4hr	0.741
0.3%(D)	4.6	9	3hr and 50min	0.76
0.5%(E)	4.6	8.5	3hr and 45min	0.79
0.7%(F)	4.6	8	3hr and 40min	0.83
0.9%(G)	4.6	7.8	3hr and 35min	0.86

يظهر الجدول (6) أن نسبة انفصال المصل انخفضت من 10ml في اللبن العادي إلى 7.8ml عند إضافة 0.9% من السبيرولينا، مما حسن من استقرار المنتج.

أظهرت العينات E,F,G قدرة أفضل على الاحتفاظ بالماء و قلت كمية المصل المنفصل وبالتالي توافقت النتائج مع (Malik et al., 2013) الذي لاحظ زيادة قوة تماسك اللبن المتخمر(تحسين القوام)مع زيادة نسبة السبيرولينا.

يعود السبب في ذلك إلى أن السبيرولينا غنية بالمواد المغذية المنشطة للبادئ اللبني كالبروتينات، السكريات المعقدة، الفيتامينات، المعادن، والمواد النشطة بيولوجيًا، عند إضافتها إلى المنتجات الغذائية أو المحاليل المختلفة، قد تؤثر على استقرار البروتينات وتوزيع الماء، مما يؤدي إلى قوام أفضل و تقليل كمية المصل المنفصل، وهذه البروتينات

يمكن أن تتفاعل مع بروتينات أخرى في الوسط الغذائي، مما يعزز من تكوين شبكة بروتينية أكثر استقرارًا تحد من انفصال المصل، كما أن الأحماض الأمينية الحرة الموجودة في السبيرولينا قد تسهم في تحسين التشابك البروتيني، مما يقلل من فصل الماء. كما تحتوي على مركبات سطحية نشطة مثل الليبيدات الفوسفورية، التي تساعد في تعزيز الاستحلاب وتحسين توزيع الدهون، مما يقلل من انفصال الطور المائي (المصل).

يظهر الجدول (6) أنه مع زيادة السبيرولينا من 0 إلى 0.9 % زادت الحموضة وانخفض الرقم الهيدروجيني المقابل وأدى ذلك إلى انخفاض زمن التخمر وكانت قيم كل من الحموضة ودرجة الحموضة في جميع العينات ضمن المعايير، انخفض رقم الـpH في العينة G من 4.55 إلى 4.39 زادت كمية حمض اللبن المتشكل من 0.741 إلى 0.86 كما قل الزمن اللازم للتخمر ليصبح 3hr,35min بدلا من 4hr يُعزى ذلك إلى نشاط بكتيريا حمض اللاكتيك الموجودة في اللبن، حيث تقوم هذه البكتيريا بتحويل السكريات إلى أحماض عضوية، مما يزيد من حموضة الوسط ويخفض الرقم الهيدروجيني عند إضافة السبيرولينا التي تحتوي على مغذيات تحفز نشاط هذه البكتيريا، وتزيد إنتاج الأحماض، مما يؤدي إلى زيادة الحموضة الكلية وانخفاض الرقم الهيدروجيني.

- يبين الجدول (7) تأثير إضافة السبرولينا على التركيب الكيميائي لـ عينة اللبن المتخمر B وعينات اللبن المدعم بالسبيرولينا بنسبة 0.1% (C) وبنسبة 0.3% (D).

جدول (7): التركيب الكيميائي لعينات اللبن المتخمر B وعينات اللبن المدعم C,D.

المكون	B	C	D
ماء	86.67	86.67	86.48
مادة صلبة كلية	13.33	13.33	13.52
بروتين	3.50	3.56	3.7
كازئين	2.8	2.84	2.96

دسم	3.7	3.76	3.79
رماد	0.51	0.49	0.51
كربوهيدرات	4.3	4.2	4.2

- يبين الجدول (8) تأثير إضافة السبيرولينا على التركيب الكيميائي لعينات اللبن المدعم بالسبيرولينا بنسبة 0.5% (E) ، بنسبة 0.7% (F) وبنسبة0.9% (G).

جدول (8) التركيب الكيميائي لعينات اللبن المتخمر المدعم بالسبيرولينا E,F,G.

المكون	E	F	G
ماء	86.24	86.02	85.78
مادة صلبة كلية	13.76	13.90	14.22
بروتين	4.00	4.19	4.35
كازئين	3.2	3.35	3.48
دسم	3.90	3.98	4.12
رماد	0.52	0.53	0.55
كربوهيدرات	3.9	4.2	4.2

أظهرت الجداول (7)،(8) أن محتويات المواد الصلبة الكلية والبروتين والرماد في اللبن الحاوي على السبيرولينا أعلى بشكل ملحوظ مقارنةً باللبن العادي، وذلك بسبب الخصائص الكيميائية الحيوية للسبيرولينا. لم يكن هناك فرق كبير في محتويات الكربوهيدرات والدهون لأن السبيرولينا تحتوي على نسبة ضئيلة لا تتجاوز 4% من الكربوهيدرات غالبًا لن تؤثر بشكل كبير على محتوى اللاكتوز في اللبن. من المحتمل أن يكون التأثير طفيفًا، ولكن قد تختلف النسب بشكل غير ملموس .لوحظت نتائج مماثلة من قبل كل من (Debbabi et

(Shin et al., 2008) (Malik et al. 2013) al., 2019) في البن الذي يحتوي على ما يصل إلى 0.5% سبيرولينا.

أدت زيادة كمية السبيرولينا من 0 إلى 0.9 % إلى ارتفاع نسبة المادة الصلبة الموجودة في اللبن المتخمر ،يمكن أن ينسب التغيير في تركيب اللبن إلى التركيب الطبيعي للسبيرولينا . وكانت هذه الزيادة بسيطة في العينات B و C .

إضافة السبيرولينا زادت من محتوى البروتين في اللبن لأن السبيرولينا تحتوي على كمية كبيرة من البروتين (حوالي 70%–60% من وزنها الجاف). يظهر الجدول ( ) أنه كلما زادت كمية السبيرولينا المضافة (0.9%–0.1%) سيتحسن محتوى البروتين في اللبن بشكل متناسب . كانت هذه الزيادة طفيفة في العينات C و D نظراً لكمية السبريولينا القليلة المضافة بينما كانت واضحة في العينات E, F, G حيث زادت نسبة البروتين حوالي 25% في العينة G و 15% في العينة E .

تظهر الجداول (7) , (8) أن إضافة السبيرولينا إلى اللبن لم يكن لها تأثير كبير على محتوى الدهون، إلا إذا تمت إضافة كميات كبيرة (مثل 0.7% أو0.9%) لأن السبيرولينا تحتوي على نسبة ضئيلة من الدهون (حوالي 7%–4)، وهذا يتوافق مع كل من (Malik et al., 2013)الذي لاحظ زيادة محتوى البروتين والدهون والحديد مع زيادة نسبة السبيرولينا و (Debbabi et al., 2019) حيث زادت البروتينات حتى 46% عند إضافة (0.24%–0.12%) سبيرولينا دون التأثير على درجة الحموضة أو معدل انفصال المصل. ووفقاً لـ (Kumar et al., 2021) زادت البروتينات 5.2% و 6.8% عند إضافة 1% و 2% سبيرولينا .

4–3–نتائج الاختبارات الحسية :

– تظهر الجدول (9) تأثير إضـافة السـبيرولينا على عينات اللبن المتخمر بنسـب (0.1–0.3–0.5–0.7–0.9)% من الناحية الحسية.

جدول (9): نتائج الاختبارات الحسية للعينات(B–C–D–E–F–G) وفقاً للدرجات

نسبة إضافة السبيرولينا (%)	اللون	الطعم	الرائحة	قبول عام
B	6	5	6	6
C	7	5	8	6
D	9	9	9	10
E	9	9	9	10
F	4	7	7	8
G	3	7	4	7

تُعطى كل صفة الدرجة 10 حيث الدرجات :

2–4: غير محبب.

5–6: طبيعي.

7–8:جيد.

9–10: جيد جداً.

عينةC : طعم مقبول لدى التذوق لا يختلف عن طعم اللبن العادي بشكل كبير مع لون أخضر خفيف وقوام متماسك.

عينةD : طعم حامضي خفيف واللون الأخضر كان أكثر وضوحاً مع رائحة لطيفة.

عينةE: الطعم حامضي ويوجد نكهة مميزة مع رائحة لطيفة واللون الأخضر الواضح وهذه المواصفات مقبولة .

عينةF : 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.

عينةG : الطعم حامضي ويوجد نكهة مميزة مع رائحة قوية واللون الأخضر واضح جداً وهذه المواصفات ممكن أن تكون غير محببة .

خامساً: الاستنتاجات والتوصيات:

الاستنتاجات :

1- تركيز 0.5% أفضل تركيز يحسن القيمة الغذائية للبن المتخمر حيث زاد محتوى البروتين 15% مع الحفاظ على التقبل الحسي للمستهلك .
2- تؤدي إضافة السبيرولينا إلى اللبن المتخمر بنسب من (0.3-0.9)% إلى تسريع عملية التخمر اللبني وتقليل كمية المصل المنفصل.
3- إضافة السبيرولينا بنسبة 0.5% خفضت كمية المصل المنفصل من10ml إلى 8.5ml أي ما يعادل 15%.
4- إضافة السبيرولينا بنسبة 0.9% زادت محتوى البروتين من زادت محتوى البروتين من 3.50 إلى 4.35 كما زادت نسبة الدسم من 3.7 إلى 4.12.

التوصيات :

1- يمكن استخدام السبيرولينا كملون طبيعي للبن المتخمر.
2- إن إضافة السبيرولينا للألبان المتخمرة أفكار جديدة بحاجة إلى مزيد من الدراسة والتوسع لذلك يوصى بدراسة حركية تغير درجة الحموضة بشكل أني.
3- يمكن استخدام السبيرولينا كمعزز للقيمة الغذائية للبن وداعم لوجود البكتيريا اللبنية.
4- دراسة تغير الكتلة الحيوية التي تعبر عن عدد البكتيريا اللبنية خلال عملية التخمر اللبني وإيجاد طريقة لفصل البروتين المتخثر عنها للوصول إلى الدقة العلمية.
5- يُوصى باستخدام نكهات طبيعية للتخفيف من تأثير نكهة التراكيز العالية من السبيرولينا وزيادة قبول المستهلك.

سادساً: المراجع :

1-المراجع العربية:

1. .صادق، شريف، 2005 – الأحياء الدقيقة الصناعية. منشورات جامعة البعث، مديرية الكتب والمطبوعات الجامعية.
2. عطرة، رمضان،2017-تقانة الألبان 2. منشورات جامعة البعث، مديرية الكتب والمطبوعات الجامعية، 2016-2017.

2-المراجع الأجنبية:

3- Agustini, T.W., 2 Soetrisnanto, D. and 1 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).

4-Ahsas,M and Habib,B, 2008−**Areview 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.

5-AL-Kadmany, E.,Haddad,M and Toufeili,T.(2003). **Estimation of shelf-life of conecentrated yoghurt by monitoring selected microbiological changes during storage**, LWT36:407-414. 24(23)

6- A.O.A.C. 1990- **"Official Methods of Analysis",** 15 ed Association of Official Analytical Chemists, Published by the Association of Official Analytical Chemists, Inc. USA.(16)

7-Barkallah,M., Dammak,M., Louati,I., Hentati,F., Hadrich,B.,Mechichi,T., Ayadi,M,A., Fendri,I., Attia,H ., Abdelkafi ,S,2017−**Effect of Spirulina platensis fortification on physicochemical, textural, antioxidant and sensory properties of yogurt during fermentation and storage**. LWT - Food Science and Technology (2017), doi: 10.1016/j.lwt.2017.05.071.

8-Debbabi H., Boubaker B., Gmati T., Chouaibi M., Boubaker A., Snoussi A,2019- **Yogurt enrichment with Spirulina (Arthrospiraplatensis): effect on physicochemical, textural properties and consumers acceptance**. In : Ruiz R. (ed.), López-Francos A. (ed.), López Marco L. (ed.). Innovation for sustainability in sheep and goats. Zaragoza : CIHEAM, 2019. p. 401-405 (Options Méditerranéennes : Série A. Séminaires Méditerranéens; n. 123).

9-Dönmez, Ö., Mogol, B. A., & Gökmen, V. (2017). **Syneresis and rheological behaviors of set yogurt containing green tea and green coffee powders**. Journal of Dairy Science, 100(2), 901–907.

10-Hoseini ,S,M., Khosravi-Darani .,K and Mozafari,M,R.,2013− **Nutritional and Medical Applications of Spirulina Microalgae**. Mini-Reviews in Medicinal Chemistry, 2013, 13, 1231-1237

11-Lafarga, T., María Fernández-Sevilla, J., González-López, C., Gabriel AciénFernández, F., **Spirulina for the food and functional food industries**, Food Research International (2020).

12-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.

13-Mourad1,G., Bettache,G and Samir,MI.2014- **Composition and nutritional value of raw milk.** Biological Sciences and Pharmaceutical Research Vol. 2(10),pp .115-122, December 2014.

14-Narayana ,R and Kale,A,2019− **Functional Probiotic Yoghurt with Spirulina**. Asian Journal of Dairy and Food Research, Volume 38 Issue 4: 147-152 (October-December 2019.

15− Ruma Arora Soni a , K. Sudhakar a, c, ,R.S. Rana,2017− **Spirulina e From growth to nutritional product: A review**. Trends in Food Science & Technology 69 (2017) 157e171

16−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.

17-Yerlikaya O. (2023). **A review of fermented milks: potential beneficial effects on human nutrition and health**. Afri Health Sci, 23(4). 498-507. https://dx.doi.org/10.4314/ahs.v23i4.54

.