

УДК 664.23-021.465+-047.44:[631.526.3:633.15+633.17:664.64.016.8

DOI: 10.31395/2310-0478-2022-1-77-81

**В. І. Войтовська,**

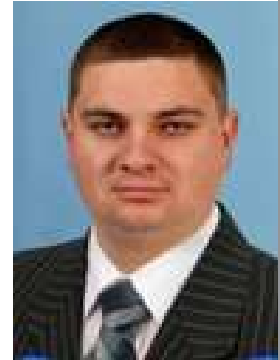
кандидат сільськогосподарських наук, старший науковий співробітник зав. лабораторії біотехнології Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН (м. Київ), Україна
E-mail: vvojtovska6@gmail.com

**В. В. Любич,**

доктор сільськогосподарських наук, професор кафедри харчових технологій Уманського національного університету садівництва (м. Умань), Україна
E-mail: LyubichV@gmail.com

**С. О. Третякова,**

кандидат сільськогосподарських наук, доцент кафедри рослинництва Уманського національного університету садівництва (м. Умань), Україна
E-mail: Lanatretyakova1983@gmail.com

**В. О. Приходько,**

кандидат сільськогосподарських наук, викладач кафедри агрохімії і ґрунтознавства Уманського національного університету садівництва (м. Умань), Україна
E-mail: vitality.198416@gmail.com

ТЕХНОЛОГІЧНА ЯКІСТЬ КРОХМАЛЮ РІЗНИХ ГІБРИДІВ КУКУРУДЗИ І СОРТІВ СОРГО ЗЕРНОВОГО ЗА ЙОГО БІОХІМІЧНОЮ СКЛАДОВОЮ

Визначено технологічну якість крохмалю різних гібридів кукурудзи і сортів сорго зернового за його біохімічною складовою. Встановлено, що в продукті міститься 81,5–83,7 % крохмалю + декстрин. Крім цього, містить білка на рівні 1,0–1,1 %, харчові волокна – 1,5–1,7 % залежно від гібриду кукурудзи. Крохмаль із кукурудзи містить вітаміни В3 і В4. Технологічна якість крохмалю із сорго зернового була подібною до кукурудзяного. Проте крохмаль сорго зернового містить вищий вміст білка та харчових волокон. За вологістю та вмістом золи крохмаль кукурудзи і сорго зернового відповідає чинним вимогам.

Дослідженнями встановлено, що в кукурудзяному крохмалю містились поліненасичені жирні кислоти (ПНЖК), насичені жирні кислоти (НЖК), зола, білок, харчові волокна, вода. Основну частину його склали вуглеводи, представлені крохмалем і декстрином – 82,5–83,7 %. Найменше містилось поліненасичених жирних кислот (ПНЖК) – 0,02–0,03 % залежно від гібриду. Крім цього, вміст білка в крохмалю був у межах 1,0–1,1 %, а вміст харчових волокон – 1,5–1,7 % залежно від гібриду кукурудзи. Вологість крохмалю становила 12,1–13,4 %, а вміст золи 0,2 %, що відповідало вимогам стандарту ДСТУ 3976-2000 Крохмаль кукурудзяний сухий. Технічні умови.

У крохмалю кукурудзи містилось два вітаміни групи В і 11 мінеральних елементів. Із вітамінів зерна кукурудзи у крохмалю визначено вміст В4 і В3 – 0,4–0,7 мг/кг. З мінеральних елементів найбільше містилось натрію – 25–30 мг/кг крохмалю. Найменше було селену – 0,002–0,003 мг/кг. Вміст міді, цинку та мангану змінювався від 0,048 до 0,070 мг/кг крохмалю. Вміст заліза – від 0,43 до 0,48 мг/кг. Вміст магнію і сірки був у межах 1,0–2,6 мг/кг. Вміст калію, кальцію і фосфору – 13–20 мг/кг залежно від гібриду кукурудзи.

Біохімічна складовою крохмалю сорго зернового була подібною до кукурудзяного. Так, вміст крохмалю + декстрин був на рівні 81,0–83,8 % залежно від сорту. Вміст ПНЖК був у межах 0,03–0,04, а вміст НЖК – 0,2 %. За вологістю та вмістом золи крохмаль сорго зернового відповідав нормам ДСТУ 4380:2005. Крохмаль модифікований. Вміст жиру становив 0,8–1,5 %, вміст білка – 1,8–2,7 % залежно від сорту сорго зернового. Слід відзначити, що походження сортів сорго зернового не впливало на формування технологічної якості крохмалю.

У крохмалю сорго зернового виявлено лише вміст вітаміну В3 – 0,67–1,00 мг/кг. Виявлено лише дев'ять мінеральних елементів. Найбільше містилось фосфору – 20–28 мг/кг крохмалю. Вміст калію і натрію був у межах 20,0–25,0 мг/кг крохмалю. Вміст міді був найменший – 0,003–0,005 мг/кг продукту. Вміст мангану був на рівні 0,084–0,098 мг/кг. Вміст заліза змінювався від 0,18 до 0,25 мг/кг, магнію, сірки і кальцію – від 2 до 6 мг/кг крохмалю сорго зернового.

Ключові слова: кукурудза, сорго зернове, крохмаль, технологічна якість, біохімічна складовою.

Voitovska V. I.,

Phd of Agricultural Sciences, Senior Researcher of the Sector of Seeds and Seed Science of Grammage of the Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beet (Kyiv), Ukraine

V. V. Liubych,

Doctor of Agricultural Sciences, Professor of the Department of Food Technologies of the Uman National University of Horticulture (Uman), Ukraine

Tretyakova S. O.,

Phd of Agricultural Sciences, Associate Professor of the Department of Plant Growing of the Uman National University of

Horticulture (Uman), Ukraine

V. O. Prykhodko,

Phd of Agricultural Sciences, Teacher of the Department of Agrochemistry and Soil Science of the Uman National University of Horticulture (Uman), Ukraine

TECHNOLOGICAL QUALITY OF STARCH OF DIFFERENT HYBRIDS OF CORN AND VARIETIES OF GRAIN SORGHUM BY ITS BIOCHEMICAL COMPONENT

The technological quality of starch of different hybrids of corn and varieties of grain sorghum according to its biochemical component is determined. It was found that the product contains 81.5–83.7% of starch + dextrin. In addition, it contains protein at the level of 1.0–1.1%, dietary fiber – 1.5–1.7%, depending on the maize hybrid. Cornstarch contains vitamins B3 and B4. The technological quality of grain sorghum starch was similar to that of corn. However, sorghum starch contains a higher content of protein and dietary fiber. In terms of moisture and ash content, cornstarch and grain sorghum meet the current requirements.

Studies have shown that cornstarch contained polyunsaturated fatty acids (PUFAs), saturated fatty acids (PFA), ash, protein, dietary fiber, water. The main part of it consisted of carbohydrates, represented by starch and dextrin – 82.5–83.7%. The lowest content of polyunsaturated fatty acids (PUFA) – 0.02–0.03%, depending on the hybrid. In addition, the protein content of starch was in the range of 1.0–1.1%, and the content of dietary fiber was 1.5–1.7%, depending on the maize hybrid. The moisture content of starch was 12.1–13.4%, and the ash content was 0.2%, which met the requirements of the standard SSTU 3976–2000 Dry cornstarch. Specifications.

Cornstarch contained two B vitamins and 11 mineral elements. Among the vitamins of corn grain in starch, the content of B4 and B3 was determined – 0.4–0.7 mg/kg. Of the mineral elements, sodium contained the most – 25–30 mg/kg of starch. Selenium was the least – 0.002–0.003 mg/kg. The content of copper, zinc and manganese varied from 0.048 to 0.07 mg/kg of starch. Iron content – from 0.43 to 0.48 mg/kg. The content of magnesium and sulfur was in the range of 1.0–2.6 mg/kg. The content of potassium, calcium and phosphorus is 13–20 mg/kg, depending on the maize hybrid.

The biochemical component of grain sorghum starch was similar to that of corn. Thus, the starch + dextrin content was at the level of 81.0–83.8% depending on the variety. The content of PUFA was in the range of 0.03–0.04, and the content of NFA was 0.2%. In terms of moisture and ash content, sorghum starch complied with the standards of SSTU 4380: 2005. The starch is modifying. The fat content was 0.8–1.5%; the protein content was 1.8–2.7%, depending on the variety of grain sorghum. It should be noted that the origin of sorghum varieties did not affect the formation of technological quality of starch.

Only the content of vitamin B3 – 0.67–1.00 mg/kg was found in grain sorghum starch. Only nine minerals have been identified. The highest content of phosphorus was 20–28 mg/kg of starch. The content of potassium and sodium was in the range of 20.0–25.0 mg/kg of starch. The copper content was the lowest – 0.003–0.005 mg/kg of product. The manganese content was 0.084–0.098 mg/kg. The content of iron varied from 0.18 to 0.25 mg/kg, magnesium, sulfur and calcium – from two to 6 mg/kg of grain sorghum starch.

Key words: corn, grain sorghum, starch, technological quality, biochemical component.

Постановка проблеми. Зернові культури є біологічним матеріалом, які мають унікальні характеристики та зумовлені генотипом і умовами навколишнього природного середовища [1–3]. Зерно кукурудзи має важливе значення для виробництва багатьох продуктів. У світі кукурудза – рослина універсального використання [4]. Нині найбільшими виробниками цієї культури є США, Китай, Мексика, Індія, Бразилія, Аргентина, Індонезія, ПАР, Франція та Італія. З неї виготовляють близько 3500 харчових і технологічних продуктів. Кукурудза використовується в харчовій, крохмалній, пивоварній та алкогольній промисловості. З появою нових напрямків розвитку біотехнологій у світі значення цієї культури зростає ще більше. Нині в країнах Європейського Союзу активно розвивається виробництво різних видів палива з рослинних матеріалів – біодизеля, біоетанолу, біометанолу [5].

Сорго є п'ятою за обсягом виробництва зерновою культурою у світі після пшениці, кукурудзи, рису та ячменю [6]. Порівняно з іншими злаками, сорго особливо стійке до стресових умов навколишнього природного середовища (висока температура повітря, засолені ґрунти). Сорго має низьку потребу до споживання води, посухостійке [7], високоврожайне з низькими вимогами до родючості ґрунту [8], а також високу стійкість до багатьох шкідників [9, 10].

Аналіз останніх досліджень. Функціональність та якість продуктів на основі крохмалистих злаків в основному залежать від властивостей та характеристик крохмалю [11]. Клейстеризація є однією з важливих фізико-хімічних властивостей крохмалю і залежить від багатьох чинників [12]. На властивості крохмалю сильно впливає склад і структура крохмалю (вміст чистого крохмалю, амілози та амілопектину, відношення амілози до амілопектину, частка крохмальних гранул з чітким розміром, розподіл довжини ланцюга) [13]. Крім цього, на властивості крохмалю по різному впливає вміст білка, ліпідів, цукру, емульгаторів, мінеральних елементів, жир-

них кислот і харчові волокна [14].

Крохмаль широко застосовується в харчовій галузі як загущувач (E1404), під час виробництва патоки різного вуглеводного складу, для одержання декстринів, глюкози (кристалічної глюкози, глюкозного концентрату, глюкозно-фруктозного сиропу, етанолу) [15]. Крохмаль з ступенем гідролізу (по глюкозі) менше 5% – мальтодекстрин використовується як стабілізатор у технології майонезу. У виробництві цукрових кондитерських виробів крохмаль використовують як рецептурний компонент рахат-лукму, а також як формувальний складник для цукерок і драже. Крім цього, застосовується у фармацевтичній промисловості [16].

Крохмаль застосовують для виробництва оболонок мікрокапсул, які забезпечують збереження властивостей продуктів харчування без застосування консервантів [17]. Крім цього, крохмаль – основна сировина для виробництва натуральних екопакувальних матеріалів харчових продуктів [18]. Проте вміст біохімічної складової майже не вивчався. Хоча відомо, що супутні речовини можуть впливати на властивості крохмалю. Тому вивчення питання щодо формування технологічної якості крохмалю з кукурудзи і сорго є актуальним.

Мета статті – вивчити питання щодо визначення технологічної якості крохмалю різних гібридів кукурудзи і сортів сорго зернового за його біохімічною складовою.

Методика досліджень. Експериментальну частину роботи виконували в Інституті біоенергетичних культур і цукрових буряків в умовах ДП ДГ «Саливонківське». У досліді після пшениці озимі вирощували гібриди кукурудзи PAM 1333 (UA), Кремень 200 CB1 (UA), Соколов 407 МФЗ (UA), сорти сорго зернового Лан 59 (UA), Степовий 8 (UA), Primei (USA), Yuki (USA), Anggy (FRA), Burggo (FRA).

Крохмаль отримували у лабораторних умовах. Вміст білка, крохмалю, жиру, харчових волокон, золи, води у крохмалю визначали методом інфрачервоної спектроскопії, використовуючи Infratek 1241. Вміст вітамінів – методом рідинної хроматографії на аналізаторі

Таблиця 1

Біохімічна складова крохмалю різних гібридів кукурудзи, %

Біохімічна складова	Гібрид			НІР ₀₅
	РАМ 1333	Кремій 200 СВ1	Соколов 407 МФ3	
ПНЖК	0,03	0,03	0,02	0,01
НЖК	0,1	0,1	0,1	0,1
Зола	0,2	0,2	0,2	0,1
Жири	0,5	0,6	0,5	0,1
Білок	1,0	1,1	1,0	0,1
Харчові волокна	1,5	1,7	1,7	0,1
Вода	12,1	13,2	13,4	0,6
Вуглеводи	82,7	83,7	81,5	4,1
Крохмаль + декстрин	82,7	83,7	81,5	4,1

Таблиця 2

Мікроскладова крохмалю різних гібридів кукурудзи, мг/кг

Мікроскладова крохмалю	Гібрид			НІР ₀₅
	РАМ 1333	Кремій 200 СВ1	Соколов 407 МФ3	
B4	0,4	0,4	0,4	0,1
B3	0,7	0,5	0,5	0,1
Se	0,003	0,003	0,002	0,001
Cu	0,048	0,051	0,045	0,003
Zn	0,05	0,07	0,05	0,01
Mn	0,055	0,055	0,055	0,003
Fe	0,46	0,48	0,43	0,02
Mg	1,0	1,0	1,0	0,1
S	2,4	2,6	2,5	0,1
K	13	15	13	1
Ca	16	17	15	1
P	20	20	17	1
Na	25	30	27	1

Таблиця 3

Біохімічна складова крохмалю різних сортів сорго зернового, %

Біохімічна складова	Сорт						НІР ₀₅
	Лан 59	С 8	Primei	Yuki	Anggy	Burggo	
ПНЖК	0,03	0,03	0,04	0,04	0,03	0,03	0,01
Зола	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1
НЖК	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1
Жири	1,2	1,5	1,0	1,0	0,8	0,8	0,1
Харчові волокна	2,1	2,4	2,5	2,5	2,0	2,4	0,1
Білки	2,3	2,7	2,5	2,5	2,0	1,8	0,1
Вода	8,2	7,1	8,4	8,3	10,1	10,2	0,3
Вуглеводи	83,5	83,8	83,5	83,2	81,2	81,0	4,2
Крохмаль + декстрин	83,5	83,8	83,5	83,2	81,2	81,0	4,2

Таблиця 4

Мікроскладова крохмалю різних сортів сорго, мг/кг

Біохімічна складова	Сорт						НІР ₀₅
	Лан 59	С 8	Primei	Yuki	Anggy	Burggo	
B3	0,95	1,00	0,91	0,86	0,72	0,67	0,04
Cu	0,005	0,005	0,005	0,005	0,003	0,003	0,001
Mn	0,096	0,098	0,095	0,097	0,087	0,084	0,004
Fe	0,21	0,24	0,25	0,23	0,20	0,18	0,02
Mg	4	4	4	4	2	2	1
S	4,7	4,5	4,8	4,5	3,7	3,3	0,1
Ca	6	6	5	5	3	3	1
Na	22	24	25	25	20	20	2
K	22,5	22,9	23,0	23,0	21,0	20,3	1,1
P	27	25	28	26	22	20	2

Хромос-301, мінеральних елементів – методом атомно-абсорбційної спектроскопії після мокрого озонення.

Статистичну обробку даних проводили дисперсійним аналізом [19]. Дисперсійним аналізом підтверджували або спростовували «нульову гіпотезу». Для цього визначали значення коефіцієнта «р», який показував ймовірність відповідної гіпотези. У випадках коли $p < 0.05$ «нульова гіпотеза» спростовувалась, а вплив чинника був достовірним.

Основні результати дослідження. Дослідженнями встановлено, що в кукурудзяному крохмалю містились поліненасичені жирні кислоти (ПНЖК), насичені жирні кислоти (НЖК), зола, білок, харчові волокна, вода (табл. 1). Основну частину його складали вуглеводи, представлені крохмалем і декстрином – 82,5–83,7 %. Найменше містилось поліненасичених жирних кислот (ПНЖК) – 0,02–0,03 % залежно від гібриду. Крім цього, вміст білка в крохмалю був у межах 1,0–1,1 %, а вміст харчових волокон – 1,5–1,7 % залежно від гібриду кукурудзи. Вологість крохмалю становила 12,1–13,4 %, а вміст золи 0,2 %, що відповідало вимогам стандарту ДСТУ 3976-2000 Крохмаль кукурудзяний сухий. Технічні умови.

У крохмалю кукурудзи містилось два вітаміни групи В і 11 мінеральних елементів (табл. 2). Із вітамінів зерна кукурудзи у крохмалю визначено вміст В4 і В3 – 0,4–0,7 мг/кг. З мінеральних елементів найбільше містилось натрію – 25–30 мг/кг крохмалю. Найменше було селену – 0,002–0,003 мг/кг. Вміст міді, цинку та мангану змінювався від 0,048 до 0,070 мг/кг крохмалю. Вміст заліза – від 0,43 до 0,48 мг/кг. Вміст магнію і сірки був у межах 1,0–2,6 мг/кг. Вміст калію, кальцію і фосфору – 13–20 мг/кг залежно від гібриду кукурудзи.

Біохімічна складова крохмалю сорго зернового була подібною до кукурудзяного. Так, вміст крохмалю + декстрин був на рівні 81,0–83,8 % залежно від сорту (табл. 3). Вміст ПНЖК був у межах 0,03–0,04, а вміст НЖК – 0,2 %. За вологістю і вмістом золи крохмаль сорго зернового відповідав нормам ДСТУ 4380:2005. Крохмаль модифікований. Вміст жиру становив 0,8–1,5 %, вміст білка – 1,8–2,7 % залежно від сорту сорго зернового. Слід відзначити, що походження сортів сорго зернового не впливало на формування технологічної якості крохмалю.

У крохмалю сорго зернового виявлено лише вміст вітаміну В3 – 0,67–1,00 мг/кг і лише дев'ять мінеральних елементів (табл. 4). Найбільше містилось фосфору – 20–28 мг/кг крохмалю. Вміст калію і натрію був у межах 20,0–25,0 мг/кг крохмалю. При цьому міді було найменше – 0,003–0,005 мг/кг продукту. Вміст мангану був на рівні 0,084–0,098 мг/кг. Вміст заліза змінювався від 0,18 до 0,25 мг/кг, магнію, сірки і кальцію – від 2 до 6 мг/кг крохмалю сорго зернового.

Висновки

Визначено технологічну якість крохмалю різних гібридів кукурудзи і сортів сорго зернового за його біохімічною складовою. Встановлено, що в продукті міститься 81,5–83,7 % крохмалю + декстрин. Крім цього, міститься білка на рівні 1,0–1,1 %, харчові волокна – 1,5–1,7 % залежно від гібриду кукурудзи. Крохмаль із кукурудзи містить вітаміни В3 і В4. Технологічна якість крохмалю із сорго зернового була подібною до кукурудзяного. Проте крохмаль сорго зернового містить вищий вміст білка та харчових волокон. За вологістю і вмістом золи крохмаль кукурудзи і сорго зернового відповідає чинним вимогам.

Література

1. Господаренко Г. М., Любич В. В., Полянецька І. О., Возіан В. В. Хлібопекарські властивості зерна спельти залежно від удобрення. Вісник Уманського НУС. 2015. № 1. С. 11–16.
2. Любич В. В. Біологічна цінність білка пшениці спельти залежно від походження сорту та лінії. Зб. наук. пр. Уманського НУС. Умань. 2016. Вип. 89. С. 199–206.
3. Любич В. В. Хлібопекарські властивості зерна сортів

пшениці озимої залежно від видів, норм і строків застосування азотних добрив. Вісник Дніпропетровського ДАЕУ. №2. 2017. С. 35–41.

4. Господаренко Г. М., Прокопчук І. В., Бойко В. П. Засвоєння основних елементів живлення з ґрунту й мінеральних добрив кукурудзою. Зб. наук. пр. Уманського НУС. 2019. Вип. 95. Ч. 1. С. 76–89.

5. Buonaiuto G., Palmonari A., Ghiaccio F., Visentin G., Cavallini D., Campidonico L., Formigoni A., Maria L., Mammi E. Effects of complete replacement of corn flour with sorghum flour in dairy cows fed Parmigiano Reggiano dry hay-based ration. Italian Journal of Animal Science. 2021. Vol. 20(1). P. 826–833.

6. FAOSTAT. Metadata 2020. Available online: <http://www.fao.org/faostat/en/#home>. (accessed 8.17.20).

7. Pistoia A., Poli P., Casarosa L., Balestri G., Ferruzzi G. 2007. Sorghum used to fodder production in dry farming. Ital J Anim Sci. 2007. Vol. 6(sup 1). P. 342–344.

8. Pino F., Heinrichs A.J. 2017. Sorghum forage in precision-fed dairy heifer diets. J Dairy Sci. 2017. Vol. 100. P. 224–235.

9. Chamarthi S.K., Vijay P.M., Sharma H.C., Narasu L.M. Constitutive and inducible resistance to *Atherigona soccata* (Diptera: Muscidae) in *Sorghum bicolor*. J Econ Entomol. 2012. Vol. 105(3). P. 1069–1076.

10. Vyavhare S.S., Pendleton B.B., Peterson G.C. Resistance of selected sorghum genotypes to maize weevil (Coleoptera: Curculionidae). Environ Entomol. 2018. Vol. 4. P. 834–839.

11. Любич В. В. Сучасні досягнення круп'яного виробництва. Вісник Уманського НУС. 2021. №1. С. 78–82.

12. Fu Z., Chen J., Luo S.J., Liu C.M., Liu W. Effect of food additives on starch retrogradation: A review. Starch-Stärke. 2015. Vol. 67. P. 69–78.

13. Srichuwong S., Sunarti T.C., Mishima T., Isono N., Hisamatsu M. Starches from different botanical sources II: Contribution of starch structure to swelling and pasting properties. Carbohydr. Polym. 2005. Vol. 62. P. 25–34.

14. Wang P., Fu Y., Wang L.J., Saleh A.S.M., Cao H.Y., Xiao Z.G. Effect of enrichment with stabilized rice bran and extrusion process on gelatinization and retrogradation properties of rice starch. Starch-Stärke. 2017. Vol. 69. Article number 1600201.

15. Любич В. В., Войтовська В. І., Крижанівський В. Г., Третьякова С. О. Формування біохімічної складової борошна із зерна різних гібридів соризи. Вісник Уманського НУС. 2021. №1. С. 66–70.

16. Любич В. В., Желєзна В. В. Обґрунтування використання зерна тритикале у технології комбікормів для годівлі сільськогосподарських тварин. Вчені записки Таврійського національного університету імені В. І. Вернадського. 2021. №2. С. 137–141.

17. Ju J., Xie Y., Guo Y., Cheng Y., Qian H., Yao W. Application of starch microcapsules containing essential oil in food preservation. Crit Rev Food Sci Nutr. 2020. Vol. 60(17). P. 2825–2836.

18. Menzel C. Improvement of starch films for food packaging through a three-principle approach: Antioxidants, cross-linking and reinforcement. Carbohydr Polym. 2020. Vol. 250. Article number 116828.

19. Поперечний А. М., Потапов В. О., Корнійчук В. Г. Моделювання процесів та обладнання харчових виробництв. Київ: Центр учбової літератури, 2012. 312 с.

References

1. Gospodarenko, G.M., Lyubich, V.V., Polyanetskaya, I.O., Voziyan, V.V. (2015). Baking properties of spelled grain depending on fertilizer. Bulletin of Uman NUS, 2015, 1, pp. 11–16. (in Ukrainian).
2. Lyubich, V.V. (2016). Biological value of spelled wheat protein depending on the origin of the variety and line. Coll. Science. Uman NUS, 2016, 89, pp. 199–206. (in Ukrainian).
3. Lyubich, V.V. (2017). Baking properties of grain of winter wheat varieties depending on the types, norms and

terms of application of nitrogen fertilizers. *Bulletin of the Dnipropetrovsk State Agrarian University*, 2017, 2, pp. 35–41. (in Ukrainian).

4. Gospodarenko, G.M., Prokopchuk, I.V., Boyko, V.P. (2019). Assimilation of basic nutrients from soil and mineral fertilizers by corn. *Bulletin of Uman NUS*, 2019, 95(1), pp. 76–89. (in Ukrainian).

5. Buonaiuto G., Palmonari A., Ghiaccio F., Visentin G., Cavallini D., Campidonico L., Formigoni A., Maria L., Mammi E. (2021). Effects of complete replacement of corn flour with sorghum flour in dairy cows fed Parmigiano Reggiano dry hay-based ration. *Italian Journal of Animal Science*, 2021, 20(1), pp. 826–833. (in English).

6. FAOSTAT. Metadata 2020. Available online: <http://www.fao.org/faostat/en/#home>. (accessed 8.17.20). (in English).

7. Pistoia, A., Poli, P., Casarosa, L., Balestri, G., Ferruzzi, G. (2007). Sorghum used to fodder production in dry farming. *Ital J Anim Sci*, 2007, 6(sup1), pp. 342–344. (in English).

8. Pino, F., Heinrichs, A.J. (2017). Sorghum forage in precision-fed dairy heifer diets. *J Dairy Sci.*, 2017, 100, pp. 224–235. (in English).

9. Chamarthi, S.K., Vijay, P.M., Sharma, H.C., Narasu, L.M. (2012). Constitutive and inducible resistance to *Atherigona soccata* (Diptera: Muscidae) in *Sorghum bicolor*. *J Econ Entomol*, 2012, 105(3), pp. 1069–1076. (in English).

10. Vyavhare, S.S., Pendleton, B.B., Peterson, G.C. (2018). Resistance of selected sorghum genotypes to maize weevil (Coleoptera: Curculionidae). *Environ Entomol*, 2018, 47, pp. 834–839. (in English).

11. Lyubich, V.V. (2021). Modern achievements of cereal production. *Bulletin of Uman NUS*, 2021, 1, pp. 78–82. (in Ukrainian).

12. Fu, Z., Chen, J., Luo, S.J., Liu, C.M., Liu, W. (2015). Effect of food additives on starch retrogradation: A review. *Starch-Stärke*, 2015, 67, pp. 69–78. (in English).

13. Srichuwong, S., Sunarti, T.C., Mishima, T., Isono, N., Hisamatsu, M. (2005). Starches from different botanical sources II: Contribution of starch structure to swelling and pasting properties. *Carbohydr. Polym*, 2005, 62, pp. 25–34. (in English).

14. Wang, P., Fu, Y., Wang, L.J., Saleh, A.S.M., Cao, H.Y., Xiao, Z.G. (2017). Effect of enrichment with stabilized rice bran and extrusion process on gelatinization and retrogradation properties of rice starch. *Starch-Stärke*, 2017, 69, Article number 1600201. (in English).

15. Lyubich, V.V., Voitovskaya, V.I., Kryzhanivsky, V.G., Tretyakova, S.O. (2021). Formation of the biochemical component of flour from grain of different hybrids of rice. *Bulletin of Uman NUS*, 2021, 1, pp. 66–70. (in Ukrainian).

16. Lyubich, V.V., Zhelezna, V.V. (2021). Substantiation of triticale grain use in technology of compound feeds for feeding farm animals. *Scientific notes of Tavriya National University named after V.I. Vernadsky*, 2021, 2, pp. 137–141. (in Ukrainian).

17. Ju, J., Xie, Y., Guo, Y., Cheng, Y., Qian, H., Yao, W. (2020). Application of starch microcapsules containing essential oil in food preservation. *Crit Rev Food Sci Nutr*, 2020, 60(17), pp. 2825–2836. (in English).

18. Menzel, C. (2020). Improvement of starch films for food packaging through a three-principle approach: Antioxidants, cross-linking and reinforcement. *Carbohydr Polym*, 2020, 250, Article number 116828. (in English).

19. Poperechny, A.M., Potapov, V.O., Korniychuk, V.G. (2012). Modeling of processes and equipment of food production. Kyiv: Center for Educational Literature, 2012, 312 p. (in Ukrainian).