

As a manuscript

ALBO HUSSAIN MALIK HIBAISH WALLI

**ABIOTIC FACTORS AND RESISTANCE OF DIFFERENT WINTER WHEAT VARIETIES IN
THE CONDITIONS OF SOUTHERN IRAQ**

Specialities

4.1.1. General Agriculture and Crop Production

4.1.2 Plant Breeding, Seed Production and Biotechnology

ABSTRACT

Dissertation for an academic degree of
Candidate of Biological Sciences

Moscow - 2026

The dissertation work was carried out at the Department of Agrobiotechnology of the Agrarian-Technological Institute of the Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education «Peoples' Friendship University of Russia»

Scientific supervisors: **Zargar Meisam**, Doctor of Agricultural Sciences, Associate Professor, Professor at the Department of Agrobiotechnology, Agrarian-Technological Institute, Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "Patrice Lumumba Peoples' Friendship University of Russia" (RUDN).

Pakina Elena Nikolaevna, Doctor of Agricultural Sciences, Associate Professor, Professor at the Department of Agrobiotechnology, Agrarian-Technological Institute, Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "Patrice Lumumba Peoples' Friendship University of Russia" (RUDN).

Official opponents: **Temirbekova Sulukhan Kudaiberdievna**, Professor, Doctor of Biological Sciences, Leading Researcher at the All-Russian Research Institute of Phytopathology

Bamatov Ibragim Musayevich, Doctor of Biological Sciences, Director of the All-Russian Research Institute of Reclaimed Lands—a branch of the V.V. Dokuchaev Soil Science Institute (Federal Research Center)

Leading organization: Federal State Budgetary Scientific Institution "Federal Research Center 'Nemchinovka'"; Office 304, Building 1, 30 Bolshoy Boulevard, Skolkovo Innovation Center Territory, Moscow, 121205, Russia

The defence of dissertation will take place on " 9 " October 2026 at ____ o'clock at a meeting of the dissertation council of the PDS 2021.004 at the Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "Patrice Lumumba Peoples' Friendship University of Russia" (RUDN), at the address: 117198, Moscow, Miklukho-Maklaya Street, 8, Building 2. The dissertation can be found in the library of the Educational and Scientific Information and Library Centre (Scientific Library) of the Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "Patrice Lumumba Peoples' Friendship University of Russia" (RUDN), at the address: located at 117198, Moscow, Miklukho-Maklaya Street, 6, and on the website: <https://www.rudn.ru/science/dissovet>.

Abstract sent out on " ____ " September 2026.

Scientific Secretary
of the Dissertation Council PDS 2021.004
Candidate of Agricultural Sciences

V.A. Burlutsky

GENERAL CHARACTERISTICS OF THE WORK

Relevance of the research. Under current conditions, global climate change acts as a key factor transforming the agroecological situation. This is manifested in a steady increase in average annual temperatures, destabilisation of the moisture regime, and an increase in the frequency of extreme weather events. In this regard, drought and soil salinisation are identified as the most critical abiotic limiting factors, posing a direct threat to the sustainability of crop production and global food security. Selection of resistant genotypes is one of the methods for mitigating the impact of abiotic environmental factors.

Degree of the development of the research study. The issues of the impact of climate change on soil salinization processes, the efficiency of irrigation methods, and the state of global water resources, as well as their impact on the cultivation of strategically important crops (rice, wheat, maize, barley), have been widely reflected in the modern scientific literature (UNCCD, 2017). The macroeconomic consequences and forecasts of the decline in agricultural production have been analyzed in detail in the works of international organizations and independent researchers, assessing the potential losses of developing countries by 2050 and the risks of reducing gross output (United Nations, 2015; Cline, 2007; Adger et al., 2003; Walli, AL-Jubouri, 2022). The regional aspects of irrigated land degradation, particularly on the example of Iraq, have been studied in the works of Qureshi and Al-Falahi (2015), as well as Al-Jassim (2021), who substantiated the direct threat to food security and social stability due to progressive salinization and drought. Priority areas of adaptation, including the development of stress-tolerant genotypes, have been highlighted in the studies of Zandwijk et al. (2021). The genetic and breeding aspects of development new wheat varieties, as well as the empirically confirmed economic efficiency of their introduction (yield increase and high benefit-cost ratio), have been thoroughly discussed in the works of Ray et al. (2013) and Meena et al. (2020).

Objectives of the study: To identify the level of agroecological adaptation and stress resistance of winter wheat varieties to a complex of limiting abiotic factors (soil moisture deficit, high growing season temperatures, salinity) under the conditions of Southern Iraq, for the scientifically based selection of stably productive genotypes and the development of practical recommendations for optimizing varietal composition in the grain production system of the region.

Research objectives:

1. To evaluate the adaptive potential and stability of the production process of winter wheat varieties under the combined effects of soil drought and salinity through a comprehensive analysis of morphometric traits and yield structure components.
2. To establish correlations between physiological indicators of adaptation (relative water content in leaves, concentration of photosynthetic pigments, and activity of the enzymatic and non-enzymatic antioxidant system) and winter wheat productivity to confirm the agricultural criteria for selecting resistant genotypes under limited conditions.
3. To conduct agroecological differentiation and ranking of varietal material based on an integrated assessment of morphophysiological and molecular indicators for the individualized selection of stress-tolerant genotypes and optimization of regional adaptive assortment.
4. To identify morphophysiological and molecular indicators of winter wheat adaptability to complex salinity and moisture deficiency, substantiating their diagnostic significance for predicting productivity and differentiated selection of genotypes in arid regions.
5. To formulate practical recommendations for differentiated selection of genotypes and adjustment of elements of winter wheat cultivation technology in the soil and climatic conditions of

Southern Iraq, ensuring stabilization of productivity and preservation of the technological properties of grain.

Scientific Novelty: For the first time, a comprehensive agroecological stratification of 23 winter wheat genotypes was performed under conditions of combined salinity and soil drought in southern Iraq, enabling the selection of the Dujela, Faris, and Buhuth 22 varieties as stable components of an adaptive assortment. A unique set of SSR-PCR markers, including the stress-specific Malik 1 and Malik 2 detectors, was developed, enabling early diagnosis of tolerance and shortening the production variety testing cycle. For the first time, a reliable association between the DRF1, NAC20L, and microsatellite sequence loci and field-specific stress tolerance parameters has been established. Fourteen sequences deposited in NCBI GenBank have been integrated into the predictive variety testing protocol, forming a scientific and methodological basis for optimizing regional variety technologies in limited agroecosystems.

Theoretical and practical significance. The theoretical principles on the patterns of productivity development of winter wheat under conditions of combined drought-salinity stress have been refined. The established correlation of field morphophysiological responses with molecular genetic markers provides a scientific basis for predictable agroecological stratification of varieties. The identified relationships between integral yield indicators and rapid diagnostics expand the concept of a managed production process and form a theoretical basis for designing adaptive varietal technologies in limited agroecosystems.

For the agrotechnological practice of Southern Iraq, the winter wheat varieties Dujela, Faris, and Buhuth 22, which maintain stable productivity under combined moisture deficit and soil salinization, have been selected for production implementation. Rapid diagnostics based on SSR-PCR markers (Malik 1, Malik 2) have been integrated into the scheme for early stratification of seeding material, reducing the field evaluation cycle by 30–40%.

Object and subject of research. The object of research is genotypes of bread wheat (*Triticum aestivum* L.) and their adaptive responses to the impact of abiotic stresses (salinity and drought). The subject of research is the agroecological and productive manifestations of phenotypic plasticity of winter wheat genotypes under the influence of a complex of limiting soil and climatic factors (available moisture deficit, high-temperature stress, secondary salinization of the root zone) in the agroclimatic conditions of Southern Iraq.

Research Methodology and Methods. The theoretical and methodological basis of the work rests on the principles of adaptive agriculture and the concept of a managed production process, where the formation of winter wheat yield is considered as a result of the regulated interaction of genetic potential with limiting environmental factors. The methodological strategy provides for the integration of field, physiological, and molecular monitoring into the system of varietal technology support for arid regions. Field trials were conducted under the conditions of Southern Iraq according to a split plot design with observance of zonal agrotechnical standards; recording of phenology, yield structure elements, and productivity was carried out according to the regulations of the Vavilov Institute of Plant Genetic Resources (VIR) and the State Variety Testing Commission of the Russian Federation. Physiological and biochemical screening (water status, pigment complex, antioxidant activity, accumulation of osmoprotectants) and molecular genetic typing (ISSR/SSR-PCR) were used as diagnostic tools for early assessment of adaptive potential and substantiation of differentiated cultivation practices. Statistical data processing included analysis of variance, correlation and regression modelling, calculation of ecological plasticity and stability coefficients (Finlay–Wilkinson

and Eberhart–Russell methods), and genotypes clustering. The reliability of the findings was ensured by multiple replicated experiments, the use of certified laboratory protocols, cross-validation of field and laboratory indicators, and the statistical significance of the relationships.

Provisions submitted for defence:

1. Patterns of productivity formation of winter wheat under conditions of interrelated salinity and drought stress.
2. Adaptive value of winter wheat varieties Dujela, Faris, and Buhuth 22 under conditions of combined drought and salinity, manifested in the stable development of ear structural elements under critical water-salt conditions.
3. Diagnostic value of a complex of SSR markers, including the stress-oriented primers Malik 1 and Malik 2, providing a rapid assessment of the adaptive potential of winter wheat genotypes to limiting abiotic factors.
4. Coordination of quantitative winter wheat yield indicators with qualitative grain parameters (wet gluten content, grain weight, vitreousness) under conditions of interrelated salinity-arid stress.

Degree of reliability and approbation of the research results is ensured by a sufficient volume of multi-year experimental data obtained over three field seasons (2021–2024) on a representative sample of 23 bread wheat varieties using the split-plot design with three replications. The reliability of the conclusions is confirmed by the application of standardized methods generally accepted in world practice and rigorous mathematical and statistical processing of data arrays (analysis of variance, LSD, Ward's cluster analysis, Pearson's correlation) using specialized software packages. A key factor in reliability is the convergence of results obtained at different levels of organization: the identified morpho-physiological and biochemical adaptations of tolerant varieties are fully confirmed by molecular diagnostic data (PCR-ISSR/SSR) and verified by the deposition of 14 new nucleotide sequences in the international GenBank database (NCBI).

The abstracts and articles based on the research results were presented at several conferences, including: the 2025 University of Kufa Conference on "The Role of Scientific Research in Solving Agricultural Problems" in Iraq; the 2025 Al-Muthanna University Conference "The First Scientific Conference on the Management of Scientific Research for Sustainable Development" in Iraq; as well as the 2024 Peoples' Friendship University Conference – the International Conference on Food Quality and Safety in Russia.

Publications based on the results of the dissertation research: 12 scientific papers have been published, including 3 articles in scientific journals indexed in Scopus/WOS, 2 articles in peer-reviewed scientific journals included in the VAK list, 4 articles in other journals, and 3 abstracts at international conferences.

Structure and volume of the dissertation. The dissertation consists of 216 pages, divided into an introduction, three main chapters, and a conclusion. It includes 44 tables, 46 figures, and 18 appendices. The list of references contains 237 sources.

Personal contribution of the author. The applicant participated in formulating the goals and objectives of the research, collected and analysed data, processed and interpreted the results, and prepared publications.

MAIN CONTENT OF THE DISSERTATION

Chapter 1 «Literature Review» is devoted to the analysis of modern scientific data on the global significance of wheat and the impact of abiotic stresses (drought and salinity), exacerbated by global climate change, on morphophysiological and biochemical parameters of plants. It also substantiates the role of genetics and breeding in the development of stress-tolerant varieties and the mitigation of the negative consequences of these factors for agricultural production.

Chapter 2 «Materials and Methods» describes the objects, conditions, and research methodology, as well as methods of data collection, processing, and statistical analysis of experimental data. Field research was conducted on an experimental site located in southern Iraq (coordinates: 31.3518° N, 45.2211° E) over three growing seasons: 2021/2022, 2022/2023, and 2023/2024. The climate of the region is characterized as arid (BWh type according to the Köppen classification). The research material consisted of 23 varieties of bread wheat (*Triticum aestivum* L.), the origin and pedigree of which are presented in Table 1.

Table 1 – Wheat varieties used in the study

	Genotype	Sample	Pedigree	Genetic origin	Source
1	Baraka	AB	IARI × STD	Iraq/ Hybridization	Ministry of Science and Technology \ Seed Technology Centre
2	Wafia	BW	Attila / 3* Pastor, (CIMMYT, ICARDA)	France/ Hybridization	Shuruq Al Nahar Agricultural Supplies Trading Company
3	Latifiya	CL	Australian breed × Aras	Iraq/ Hybridization	Ministry of Science and Technology \ Agricultural Research Department - Latifiya Research Station
4	Binakal	DB	BISU/3/YAV79/ALOI/ALTARS4/ CD93683.7Y.040M-03 OY- LPAP.B	Spanish/ Hybridization	Alreef Alkhadraa company for General Trading and Agricultural Supplies. The Spanish company Fito Semillas.

5	Uruk	EU	Inia 66 (Rad) Radiation of seeds of Enya 66	Iraq / Radiation	Institute of Genetic Engineering and Biotechnology\ University of Baghdad
6	Fateh	GF	MixPac × Aras	Iraq / Hybridization	Ministry of Agriculture /Agricultural Research Department
7	Buhuth 10	HB	Abaa 95 × Abaa 99		
8	Abaa 95	QA	Veery eer (CIMMYT)		
9	Abaa 99	RA	Ures/Bow's'//Pollmer's (CIMMYT and ICARDA)		
10	Buhuth 22	TB	CMSS96Y03236M-050M-040M-020M-050Sy-020sy-IM-0Y	Iraq / Radiation	
11	Buhuth 158	IB	119-S2/57-S2. Cr7.S2		
12	Sham	FS	W-3018-A/JUPATECO-73		
13	Babul 113	JB	MEXIPAK/R23	Iraq / Radiation	Iraqi Atomic Energy Organization
14	Al Iraq	KA	Radiation of Mexipac seeds with full cobalt 60 doses and 10 kilos rad, Max. (Rad)		
15	Bwru	LB	H31/Trapf21 / Enesco	Italy/ hybridization	Debbana Modern Agriculture Company
16	Baghdad	MB	MX105-6MVLT40 / BNSN	Iraq / Hybridization	Ministry of Science and Technology Department of Agricultural Research and Food Technology
17	Abo ghurayb	SA	Ajeeba × Lian 12 × Mexico24		
18	Buhuth	PB	118//S2/57-S2-CR7-S2		
19	Faris	NF	STAR/TR77/773/SLMS	Iraq / Radiation	
20	Tammuz	OT	Exposing the resulting hybrid (Maxipac x Saber Beek) to radiation	Iraq / Hybridization and Radiation	Iraqi Atomic Energy Organization
21	Dujela	UD	8409644HS2-6H	Iraq / Radiation	College of Agriculture - Al-Muthanna University
22	Nemchinovka	VN	(Donshchina × Pamyati Fedina) × Moskovskaya 39	Russia/ Hybridization	Agricultural Technological Institute - RUDN
23	Abo Raghif	WA	Inia 66 / 2 * Mexipak	Turkey/ Hybridization	College of Agriculture - Al-Muthanna University

The experiment was established using the split-plot design with three replications.

Factor A (main plots) – salinity stress: control (5 dS/m, natural water from river), moderate stress (10 dS/m), and severe stress (15 dS/m). Dosed application of NaCl was controlled using a portable conductivity meter (HANNA, HI98304 DiST 4).

Factor B (subplots) – water stress (drought): control (90% of field capacity – FC), moderate (60% FC), and severe (30% FC). Moisture reserves and irrigation rates were calculated based on the determination of field capacity and permanent wilting point using the pressure plate method (according to L.A. Richards).

Factor C (sub-subplots) : 23 wheat varieties.

Sowing was carried out in November. Irrigation was performed using the drip irrigation method (efficiency 85%), which allowed strict dosing of water supply and prevented solution flow between plots. Stress factors were imposed gradually, starting from the germination stage, and maintained until harvest. Agronomic practices followed the standard procedures for the experimental zone.

The following methods of data collection and evaluation were employed during the research.

Morphological traits and yield. Harvesting was conducted at full maturity stage. Plant height, productive tillering, flag leaf area (FLA, $\text{cm}^2 = \text{length} \times \text{width} \times 0.95$), grain weight per spike, 1000-grain weight, biological and economic yield (t/ha) were determined.

Tolerance indices. To assess the response of genotypes to stress, the following were calculated: stress intensity (SI), yield index (YI), yield stability index (YSI), stress tolerance index (STI), and stress susceptibility index (SSI) using standard formulas (Fischer & Maurer, 1978; Fernandez, 1992; Jaddoa, 2017), where Y_s and Y_p are the yield of the variety under stress and control conditions, respectively.

Physiological parameters. Chlorophyll content was assessed in situ using a SPAD meter. Proline content was determined according to the method of Bates et al. (1973). Relative water content in tissues (RWC, %) was calculated using the formula: $\text{RWC} = (\text{FW} - \text{DW}) / (\text{TW} - \text{DW}) \times 100$, where FW, DW, and TW are fresh weight, dry weight, and turgid weight of the sample, respectively.

Biochemical and enzymatic indicators. The activity of antioxidant enzymes (SOD, POD, CAT) and the concentration of reactive oxygen species (H_2O_2) were determined spectrophotometrically using standard methods. Total nitrogen content (N) was determined by the Kjeldahl method. The concentrations of Na^+ and K^+ ions were measured using a flame photometer (Model FF-200), and the Na^+/K^+ ratio was calculated.

Grain quality. The content of protein, starch, crude gluten, and moisture in grain was determined by near-infrared spectroscopy (NIR) using the Perten Instruments AM 5200-M analyser.

Molecular genetic analysis.

DNA extraction and PCR. Total DNA was extracted from fresh leaves of 10-day-old seedlings using the FAVORGEN kit (Plant Genomic DNA Extraction Maxi Kit). Amplification was carried out under standard conditions: initial denaturation at 94°C (3 min), 32 cycles (94°C – 30 s, annealing – 30 s, 72°C – 1 min), and final extension at 72°C (5 min).

PCR-ISSR analysis. To assess genetic diversity and construct genetic fingerprints (DNA fingerprinting), 20 ISSR primers were selected and applied for the first time to the wheat genome (Table 2). A total of 460 samples were analysed.

Table 2 – Primer sequence (5'–3'), temperature, and length for twenty ISSR primers in this study (Mandal et al. 2019; Mohamad et al. 2017; Alhasnawi 2019).

Primers	Sequence (5' -- 3')	Length (meres)	Annealing. °C
ISSR-1	(AG)9C	19	58
ISSR-2	(AC)8G	17	52
ISSR-3	(AG)8T	17	50
ISSR-4	(TG)8C	17	52
ISSR-5	(AC)8Y	17	48
ISSR-6	A(CAG)5	16	52
ISSR-7	B(CT)8Y	18	50
ISSR-8	R(ACA)5	16	40
ISSR-9	(CAC)7G	22	74
ISSR-10	(CT)9Y	19	56
ISSR-11	(CA)8DT	18	50
ISSR-12	(CTC)6G	19	64
ISSR-13	(GT)8C	17	52
ISSR-14	G(CA)8	17	52
ISSR-15	(GAA)7	21	56
ISSR-16	(GA)8V	17	48
ISSR-17	(GT)8C	17	52
ISSR-18	(GA)8G	17	52
ISSR-19	(GA)8HC	18	52
ISSR-20	(GACA)5	20	60

Note: B = C/G/T; D = A/G/T; H = A/C/T; R = A/G; V = A/C/G; Y = C/T

PCR-SSR analysis (microsatellites). For molecular marking of tolerant genotypes (identified based on phenotyping results and assigned to clusters A and B) and sensitive genotypes (clusters C and D), 4 pairs of SSR primers were used, including two newly developed primers (Malek 1 and Malek 2), as well as known markers xcf-d-18, xgwm-493, Xgwm130, and Xwmc245 (Table 3). A total of 72 samples were analysed.

Table 3 – SSR primers for identifying varieties tolerant to drought and salinity

Stresses	Primers	Sequences (5' -- 3')	Length (meres)	Annealing. °C	Sources
Drought	Malek 1	F: GGTAGATCGGAAGGACGCTG / R: CAGGGGGCTCATCACCAAAT	20/20	64/62	NEW
	Malek 2	F: ATTGCAAGGAGCACATCCGA / R: TCAGCATCATGGAAGGCAGG	20/20	60/62	NEW
	Xgwm 130	F: AGCTCTGCTTCACGAGGAAG / R: CTCCTCTTTATATCGCGTCCC	20/21	62/64	(Haque et al. 2021)
	Xwmc 245	F: GCTCAGATCATCCACCAACTTC / R: AGATGCTCTGGGAGAGTCCTTA	22/22	66/66	(Thungo et al. 2020)
Salinity	Xcf-d-18	F: CATCCAACAGCACCAAGAGA / R: GCTACTACTATTTATTGCGACCA	20/24	60/65	(Hannan et al. 2021)
	Xgwm-493	F: ATCGCATGATGCACGTAGAG / R: ACATGCATGCCTACCTAATGG	20/21	60/62	(Vaja et al. 2016)

Sequencing and bioinformatics. Amplicons specific to tolerant varieties were sequenced using the Sanger method (Macrogen Inc., South Korea). Identified nucleotide substitutions were analysed for their effect on the amino acid sequence of target proteins using the Expasy Translate server. The obtained sequences were deposited in the international NCBI GenBank database.

Statistical data analysis. Primary processing of electrophoresis results (binary coding of band presence/absence) was performed using Gel Analyzer software. To eliminate differences in measurement units of morphological and physiological traits, data were standardized (calculation of Z-scores). Genetic similarity was assessed using the Dice coefficient, and cluster analysis (Ward's method) was performed based on the Euclidean distance matrix. Analysis of variance (ANOVA) and comparison of means were conducted using the LSD test (least significant difference) at a significance level of $p \leq 0.05$ in Statistix 8.1 and SPSS software. Pearson's correlation analysis was performed in OPSTAT software. Calculation of polymorphism parameters (PIC, EMR, MI, Rp) was carried out using standard molecular genetics formulas.

Chapter 3. Results and Discussion

3.1. Results of morphological traits of genotypes exposed to abiotic stresses

3.1.1 Morphological traits of genotypes

The results of morphological data, presented in Table 4, revealed no significant differences ($p > 0.05$) between agricultural seasons (2022–2024) for most morphological traits. This consistency confirms the genetic stability of the varieties that were assessed under salinity and drought stress conditions. Such stability was attributed to several methodological factors: the high efficiency (85%) of the drip irrigation system, which ensured precise water distribution; the use of the pressure plate method for accurate soil moisture determination and water requirement calculations; and the relative uniformity of climatic conditions, including rainfall and temperature, during the study period. These combined factors minimized environmental variance. The genotypes SA, NF, UD, TB, CL, and AB had the highest mean values and low standard deviation (SD) values, as well as positive Z-score values for morphological traits under the influence of salinity and drought stress across the studied traits.

Table 4 – Mean values of morphological traits and productivity components of bread wheat genotypes under drought and salinity conditions (2022–2024)

Genotypes	Stress factor	Biomass. g/plant	Weight of 1000 grains. g	Yield. t/ha	Flag Leaf Area. cm ²	Plant height. cm	Number of tellers, N0/plant.
AB	Drought/Salinity	72.9/83.9	52.3/59.6	5.69/6.18	66.6/68.2	84.5/91.3	9.3/9.9
BW		80.7/88.4	46.1/54.8	5.04/5.37	45.6/47.2	68.2/75.9	6.6/7.5
CL		97.8/108.0	36.2/44.1	6.06/6.37	39.0/40.6	103.7/110.8	10.4/10.5
DB		67.7/74.4	41.0/49.9	4.23/4.17	42.7/44.3	79.7/87.7	8.1/9.5
EU		76.5/85.4	33.7/42.8	4.83/5.08	34.0/35.6	49.7/57.6	5.7/6.5
FS		54.3/59.7	21.7/31.2	2.79/3.25	27.6/29.2	41.2/49.2	6.8/7.8
GF		62.3/94.2	30.9/40.1	3.5/6.15	41.4/43.1	79.2/86.6	7.7/8.6
HB		64.1/90.5	40.2/49.1	3.75/5.51	46.0/47.7	65.5/73.1	4.6/5.0
IB		60.3/91.6	42.0/50.9	3.48/5.72	39.3/41.0	71.3/78.8	8.5/3.9
JB		63.7/71.1	35.6/44.7	3.74/3.92	39.3/40.9	96.7/103.8	8.0/8.8
KA		70.7/66.5	52.5/61.0	4.39/3.89	42.4/44.1	85.8/93.1	6.9/7.8
LB		84.0/77.9	31.2/40.4	5.67/4.68	12.5/14.1	39.3/47.3	7.3/8.9
MB		67.2/71.7	42.6/51.5	3.79/4.17	35.7/37.3	76.1/83.6	7.2/8.2
NF		99.5/110.8	62.3/70.5	6.38/8.03	58.5/60.1	110.6/117.5	10.8/11.1

OT		54.6/65.2	23.3/32.7	3.2/3.61	36.0/37.6	68.7/76.3	7.1/8.1
PB		50.3/62.3	26.8/36.1	2.7/3.32	29.6/31.3	83.6/91.0	5.9/6.9
QA		80.2/86.9	25.7/35.0	4.95/5.29	33.2/34.8	82.0/89.5	3.7/4.8
RA		75.0/79.5	27.7/35.8	4.63/4.83	33.9/35.5	87.5/94.9	6.5/7.5
SA		99.6/124.5	35.2/43.1	7.49/8.32	43.7/45.3	78.2/85.6	11.0/13.2
TB		101.1/104.0	33.9/43.0	7.51/6.72	34.7/35.9	83.7/87.7	11.4/11.1
UD		118.2/115.0	28.0/37.2	7.77/8.05	10.1/11.1	49.2/57.0	11.9/11.6
VN		78.0/88.7	17.7/24.7	4.91/5.41	17.0/18.7	30.1/37.7	8.9/9.8
WA		81.4/76.0	36.1/45.1	5.25/4.2	28.5/30.2	78.5/85.9	7.3/8.3
Average		76.5/85.9	35.8/44.5	4.86/5.31	36.4/38.0	73.6/80.9	7.9/8.5
LSD.05		1.55/1.43	2.72/2.66	0.08/0.08	1.36/1.36	5.79/2.86	0.28/0.31

3.1.2 Evaluation of wheat grain content under the influence of salinity and drought stress

Analysis of the biochemical parameters of grain (Table 5) indicates that the effect of abiotic stressors exerts a differentiated influence on its quality. It was established that drought exhibits a more pronounced inhibitory effect on the biochemical composition of grain compared to salinity. At the same time, a number of genotypes were identified – Dujela (UD), Abo Ghurayb (SA), Buhuth 22 (TB), Faris (NF), Latifiya (CL), and Baraka (AB) – which maintained high grain quality indicators under both conditions, indicating their pronounced tolerance to salinity and water deficit.

The genotypes Abo Ghurayb (SA) and Dujela (UD), possessing maximum biochemical potential, represent particular breeding value: they are characterized by the highest content of protein (up to 13.57%), gluten (up to 27.32%), and starch (up to 59.49%). At the same time, the genotypes Sham (FS) and Buhuth (PB) exhibited high sensitivity to stress factors, demonstrating minimal accumulation of assimilates.

Table 5 – Evaluation of grain quality under salinity and drought stress

Genotypes	Stress factor	Protein %	Moisture %	Gluten %	Starch %
Baraka (AB)	Salinity / Drought	13.34/11.46	6.89/5.28	26.1/25.03	51.36/49.9
Wafia (BW)		13.24/11.37	8.45/7.72	23.68/24.03	47.04/46.64
Latifiya (CL)		13.36/11.53	6.59/5.21	26.33/25.24	52.92/51.41
Binakal (DB)		12.77/11.09	10.52/9.06	22.8/22.32	44.73/43.86
Uruk (EU)		13.07/11.28	8.94/8.57	23.42/23.0	46.13/45.12
Sham (FS)		12.15/10.68	11.73/11.49	20.65/19.55	42.16/39.01
Fateh (GF)		13.33/10.83	7.84/10.37	25.97/20.65	48.49/42.79
Buhuth10 (HB)		13.26/11.04	8.04/9.61	24.61/21.34	47.99/43.47
Buhuth158 (IB)		13.33/10.81	7.96/10.46	25.1/20.52	48.16/42.2
Babul 113 (JB)		12.66/10.95	10.7/9.67	22.5/21.04	44.03/43.3
Al Iraq (KA)		12.65/11.11	10.9/8.91	21.56/22.59	43.42/44.49
Bwru (LB)		13.02/11.45	9.78/7.46	23.28/24.57	45.13/47.12
Baghdad (MB)		12.72/11.06	10.61/9.54	22.79/21.95	44.55/43.6
Faris (NF)		13.53/11.56	6.45/4.92	26.78/25.38	55.58/53.83
Tammuz (OT)		12.52/10.76	11.3/10.66	21.64/20.1	43.3/42.11
Buhuth (PB)		12.24/10.7	11.48/10.78	20.23/18.66	43.08/40.98
Abaa 95 (QA)		13.22/11.36	8.81/7.74	23.54/23.66	46.43/46.51
Abaa 99 (RA)		13.05/11.26	9.15/8.69	23.29/22.85	45.76/44.83
Abo Ghurayb (SA)		13.57/11.57	7.08/4.89	27.12/26.8	59.49/53.99
Buhuth 22 (TB)		13.53/11.71	6.53/4.65	26.39/26.47	55.42/54.32
Dujela (UD)		13.56/11.73	6.14/4.35	27.32/25.93	55.92/57.77

Nemchinovka (VN)		13.25/11.3	7.84/8.21	24.4/23.44	47.86/45.71
Abo Raghif (WA)		13.01/11.39	8.81/7.59	22.96/24.46	44.86/46.8
Average		13.06/11.22	8.81/8.08	24.02/23.02	47.99/46.51
LSD.05		0.32/0.26	1.19/1.26	1.19/1.26	3.72/4.0

It was established that in a number of genotypes under drought conditions, there is an increase in gluten and starch content compared to salinity, presumably due to the concentration effect of dry matter accompanying a reduction in grain moisture. On average across the sample, drought exerts a more pronounced inhibitory effect on the biochemical profile of grain: the reduction in protein content from 13.06 to 11.22% is statistically significant (exceeding $LSD_{0.5}$).

3.1.3 Sensitivity of genotypes to salinity and drought stress based on yield trait

Analysis of the stress susceptibility index (SSI), stress tolerance index (STI), and yield stability index (YSI) (Table 6) revealed a significant effect of abiotic stressors on the productivity of the studied accessions. It was established that the genotypes Abo Ghurayb (SA), Dujela (UD), and Faris (NF) are characterized by combined resistance to salinity and drought, combining minimum SSI values with maximum STI and YSI values. The accessions Buhuth (PB) and Sham (FS) demonstrated the highest sensitivity to stress factors. At the same time, the genotypes Dujela (UD) and Buhuth 22 (TB) exhibited the highest specific adaptation exclusively to water deficit conditions, achieving record stress tolerance index (STI) values under drought.

Table 6 – Tolerance and sensitivity indices of genotypes based on grain yield t/ha

Genotypes	SSI		STI		YSI	
	Salinity	Drought	Salinity	Drought	Salinity	Drought
Baraka (AB)	0.47	0.62	0.96	1.03	0.84	0.79
Wafia (BW)	0.83	0.65	0.84	0.82	0.73	0.77
Latifiya (CL)	0.49	0.58	1.03	1.15	0.84	0.8
Binakal (DB)	0.9	0.75	0.53	0.61	0.69	0.74
Uruk (EU)	0.79	0.53	0.75	0.72	0.73	0.81
Sham (FS)	1.17	1.09	0.36	0.31	0.62	0.62
Fateh (GF)	0.58	0.83	1.0	0.44	0.8	0.7
Buhuth10 (HB)	0.63	0.85	0.82	0.5	0.78	0.7
Buhuth158 (IB)	0.78	1.0	0.92	0.46	0.75	0.66
Babul 113 (JB)	0.82	0.87	0.46	0.5	0.71	0.7
Al Iraq (KA)	0.98	0.57	0.47	0.62	0.68	0.78
Bwru (LB)	0.78	0.56	0.63	1.0	0.73	0.8
Baghdad (MB)	0.91	0.82	0.53	0.51	0.69	0.71
Faris (NF)	0.32	0.47	1.54	1.21	0.89	0.84
Tammuz (OT)	0.89	0.89	0.4	0.37	0.7	0.69
Buhuth (PB)	1.04	1.17	0.36	0.3	0.65	0.6
Abaa 95 (QA)	0.57	0.65	0.74	0.79	0.8	0.77
Abaa 99 (RA)	0.66	0.74	0.66	0.73	0.75	0.74
Abo Ghurayb(SA)	0.28	0.34	1.63	1.59	0.9	0.88
Buhuth 22 (TB)	0.45	0.36	1.13	1.61	0.85	0.88
Dujela (UD)	0.35	0.3	1.56	1.69	0.89	0.89
Nemchinovka(VN)	0.61	0.79	0.79	0.82	0.79	0.73
Abo Raghif(WA)	0.84	0.79	0.53	0.93	0.71	0.74
Averages	0.7	0.71	0.81	0.81	0.76	0.75
LSD.05	0.07	0.06	0.03	0.04	0.02	0.02

3.2 Results of physiological indicators of genotypes subjected to abiotic stresses

Analysis of physiological parameters (Table 7) revealed the mechanisms underlying the differences in genotype tolerance to salinity and drought. It was established that the genotypes Abo Ghurayb (SA), Dujela (UD), Faris (NF), and Buhuth 22 (TB), previously identified as tolerant based on a complex of yield indices and biochemical parameters, are characterized by a combination of physiological advantages: elevated chlorophyll content (up to 50.04 SPAD), high relative water content in tissues (RWC up to 86.03%), minimal hydrogen peroxide accumulation (H_2O_2 up to 1.60 units), and maximum superoxide dismutase activity (SOD up to 1.07 units). These genotypes also demonstrate a pronounced ability for osmotic regulation, as evidenced by increased proline accumulation (up to 0.64 mg/g).

In contrast, the genotypes Sham (FS) and Buhuth (PB), which exhibited high sensitivity to stressors, are characterized by inhibition of the photosynthetic apparatus (reduction in chlorophyll to 32.66 SPAD), pronounced water deficit (RWC up to 54.52%), and intensive development of oxidative stress (maximum H_2O_2 accumulation up to 3.95 units) against a background of weak antioxidant system activity (SOD 0.75–0.87 units).

Table 7 – Physiological indicators of genotypes under the influence of abiotic stresses

Genotype	Stress factor	Chlorophyll (SPAD)	Proline. mg/g	RWC	H_2O_2	SOD
Baraka (AB)	Salinity / Drought	46.6/40.57	0.47/0.51	73.48/72.08	1.88/2.74	0.92/0.98
Wafia (BW)		43.8/37.41	0.4/0.47	68.59/68.08	2.29/3.14	0.86/0.93
Latifiya (CL)		46.63/40.63	0.55/0.58	73.87/72.41	1.85/2.66	0.93/1.01
Binakal (DB)		40.27/36.67	0.34/0.41	64.09/62.74	2.54/3.32	0.84/0.9
Uruk (EU)		40.73/33.97	0.36/0.44	67.26/65.91	2.36/3.18	0.85/0.91
Sham (FS)		38.06/32.66	0.29/0.29	57.81/54.52	3.09/3.95	0.75/0.86
Fateh (GF)		41.1/36.1	0.42/0.44	72.87/62.69	2.23/3.58	0.88/0.89
Buhuth 10 (HB)		40.07/36.34	0.43/0.47	69.57/61.13	2.28/3.41	0.86/0.9
Buhuth 158 (IB)		40.33/35.17	0.4/0.44	71.59/60.66	2.26/3.63	0.87/0.88
Babul 113 (JB)		41.37/36.2	0.3/0.39	62.03/60.86	2.73/3.55	0.82/0.89
Al Iraq (KA)		41.23/37.13	0.34/0.37	61.2/60.52	2.77/3.29	0.81/0.91
Bwru (LB)		42.41/37.26	0.37/0.42	65.53/65.08	2.46/3.05	0.85/0.94
Baghdad (MB)		42.17/36.47	0.36/0.4	62.48/61.69	2.69/3.36	0.83/0.9
Faris (NF)		47.33/41.27	0.57/0.62	81.76/73.36	1.69/2.65	0.95/1.01
Tammuz (OT)		40.0/33.93	0.29/0.35	60.03/58.58	2.89/3.75	0.81/0.87
Buhuth (PB)		39.86/33.79	0.29/0.32	59.22/56.36	2.95/3.8	0.8/0.87
Abaa 95 (QA)		43.2/36.27	0.41/0.46	67.31/67.08	2.32/3.15	0.86/0.92
Abaa 99 (RA)		42.53/37.41	0.38/0.45	65.81/65.8	2.43/3.22	0.85/0.91
Abo Ghurayb (SA)		50.04/40.63	0.59/0.63	86.03/80.36	1.6/2.55	0.96/1.02
Buhuth 22 (TB)		46.7/41.76	0.56/0.63	78.81/76.69	1.75/2.51	0.94/1.05
Dujela (UD)		47.7/45.53	0.57/0.64	85.09/84.58	1.65/2.46	0.95/1.07
Nemchinovka (VN)		42.03/38.0	0.41/0.42	69.37/66.07	2.28/3.17	0.86/0.92
Abo Raghif (WA)		42.37/38.52	0.39/0.44	71.48/70.13	2.51/3.1	0.84/0.94
Averages		42.89/37.55	0.41/0.46	69.36/66.41	2.33/3.18	0.86/0.93
LSD.05		3.13/2.94	0.08/0.07	5.71/6.38	0.48/0.46	0.05/0.05

On average across the sample, drought conditions exerted a more pronounced physiological effect compared to salinity, which was manifested in a decrease in chlorophyll content and RWC, as

well as a significant increase in H₂O₂ and proline concentrations, indicating enhanced oxidative damage and activation of osmoregulatory mechanisms in plants.

3.3 Results of biochemical indicators of genotypes subjected to abiotic stresses

Analysis of the ionic composition of plants (Table 8) revealed pronounced varietal differences in the ability to maintain ion homeostasis under salinity and drought conditions. The genotypes previously identified as tolerant – Abo Ghurayb (SA), Dujela (UD), and Faris (NF) – were characterized by minimal Na⁺ accumulation (0.14–0.16%), maximum K⁺ content (0.37–0.41%), and the lowest Na⁺/K⁺ ratio (0.33–0.43), indicating efficient selective capacity of the root systems and a high level of osmotic regulation. These genotypes simultaneously demonstrated increased nitrogen content (2.49–2.59%), reflecting the maintenance of metabolic activity under stress.

In contrast, the sensitive genotypes Sham (FS) and Buhuth (PB) accumulated maximum Na⁺ concentrations (0.22%) with minimal K⁺ content (0.18–0.20%) and a high Na⁺/K⁺ ratio (1.15–1.29), indicating ionic imbalance and the toxic effect of salinity. Reduced nitrogen content in these accessions (1.87–1.90%) confirms the inhibition of physiological and biochemical processes.

Table 8 – Estimation of Na⁺, K⁺, and N content in genotypes under salinity and drought stress

Genotype	Sodium (Na ⁺) %	Potassium (K ⁺) %	Ratio Na ⁺ /K ⁺	Nitrogen (N) %
Baraka (AB)	0.17	0.33	0.57	2.4
Wafia (BW)	0.18	0.27	0.81	2.28
Latifiya (CL)	0.16	0.33	0.51	2.58
Binakal (DB)	0.19	0.21	1.14	2.15
Uruk (EU)	0.19	0.26	0.82	2.2
Sham (FS)	0.22	0.18	1.29	1.87
Fateh (GF)	0.18	0.31	0.67	1.99
Buhuth 10 (HB)	0.18	0.29	0.86	2.06
Buhuth 158 (IB)	0.18	0.3	0.65	1.95
Babul 113 (JB)	0.19	0.21	1.24	2.04
Al Iraq (KA)	0.2	0.21	1.17	2.17
Bwru (LB)	0.19	0.24	0.92	2.37
Baghdad (MB)	0.19	0.21	1.09	2.07
Faris (NF)	0.16	0.37	0.43	2.49
Tammuz (OT)	0.21	0.2	1.14	1.91
Buhuth (PB)	0.22	0.2	1.15	1.9
Abaa 95 (QA)	0.19	0.26	0.85	2.25
Abaa 99 (RA)	0.19	0.24	0.99	2.17
Abo Ghurayb (SA)	0.14	0.41	0.33	2.55
Buhuth 22 (TB)	0.16	0.34	0.5	2.58
Dujela (UD)	0.16	0.37	0.43	2.59
Nemchinovka (VN)	0.18	0.28	0.81	2.23
Abo Raghif (WA)	0.19	0.21	0.94	2.35
Averages	0.18	0.27	0.84	2.22
LSD.05	0.04	0.07	0.28	0.08

3.4 Classification of genotypes according to their resistance to abiotic stresses

Based on a comprehensive assessment of morphological and physiological traits, yield components, and sensitivity indices, the 23 genotypes were classified into four clusters according to their level of tolerance to abiotic stressors (Table 9).

Table 9 – Classification of genotypes based on morphological and physiological indicators under the influence of abiotic stress

Salinity Stress (5, 10, 15 ds / m)	Drought Stress (90%, 60%, 30%) of Field capacity				
	Resistance level Cluster ()	Highly Tolerant (A)	Moderately Tolerant (B)	Moderately Sensitive (C)	Highly Sensitive (D)
	Highly Tolerant (A)	UD, SA	NF		
	Moderately Tolerant (B)	TB	CL, AB,		GF
	Moderately Sensitive (C)			EU, RA, VN, BW, QA, LB	HB, IB
	Highly Sensitive (D)			KA, DB, WA	FS, OT, PB, MB, JB

For drought stress:

Cluster A (highly tolerant): *Dujela* (UD), *Abo Ghurayb* (SA), *Buhuth 22* (TB);

Cluster B (moderately tolerant): *Latifiya* (CL), *Faris* (NF), *Baraka* (AB);

Cluster C (moderately sensitive): *Uruk* (EU), *Abaa 99* (RA), *Al Iraq* (KA), *Binakal* (DB), *Nemchinovka* (VN), *Wafia* (BW), *Abaa 95* (QA), *Abo Raghif* (WA), *Bwru* (LB) – the most numerous group;

Cluster D (highly sensitive): *Sham* (FS), *Tammuz* (OT), *Buhuth* (PB), *Buhuth 10* (HB), *Baghdad* (MB), *Babul 113* (JB), *Fateh* (GF), *Buhuth 158* (IB) – characterized by a pronounced reduction in plant height, biomass, and grain yield.

For salinity stress:

Cluster A (highly tolerant): *Abo Ghurayb* (SA), *Dujela* (UD), *Faris* (NF);

Cluster B (moderately tolerant): *Baraka* (AB), *Fateh* (GF), *Latifiya* (CL), *Buhuth 22* (TB);

Cluster C (moderately sensitive): *Uruk* (EU), *Abaa 95* (QA), *Abaa 99* (RA), *Bwru* (LB), *Wafia* (BW), *Buhuth 10* (HB), *Buhuth 158* (IB), *Nemchinovka* (VN);

Cluster D (highly sensitive): *Binakal* (DB), *Baghdad* (MB), *Abo Raghif* (WA), *Babul 113* (JB), *Al Iraq* (KA), *Tammuz* (OT), *Buhuth* (PB), *Sham* (FS) – showed a significant reduction in productivity and yield-related traits with increasing salt concentration.

The genotypes *Abo Ghurayb* (SA) and *Dujela* (UD) are consistently included in the highly tolerant cluster for both stressors, confirming their combined tolerance. The genotype *Sham* (FS) is classified as highly sensitive, demonstrating vulnerability to both environmental factors.

3.5. Results of molecular diagnostics

Evaluation of new PCR-ISSR markers

Twenty new ISSR primers were used in the PCR analysis, which amplified a total of 821 fragments, with an average of 41.05 bands per primer (doubling ratio). Gel electrophoresis results showed no cleavage for primers ISSR-8 and ISSR-20, while the remaining 18 primers demonstrated the ability to differentiate genotypes in the study.

Genetic fingerprinting (Genetic Passporting) of genotypes using PCR-ISSR markers

Genetic similarity (GS) among 23 genotypes was analysed in Figure 1, which revealed the lowest similarity between WA and CL of 0.21 and the highest similarity between genotypes MB and RA of 0.75, with an average similarity of 0.48. The dendrogram indicates two main clusters; the first includes genotype WA from Turkey with a genetic distance of 0.79 from other clusters. The second cluster is subdivided: genotype BW from France shows a distance of 0.63 from other subgroups. Furthermore, genotypes RA and QA share common genetic sources from CIMMYT, with genotype RA being a parent in hybridization with genotype HB. Cluster (10) consists of genotypes JB and OT, linked through radiation mutation from a common ancestor (MEXIPAK). These results contributed to identifying the genetic fingerprint of each genotype in the study.

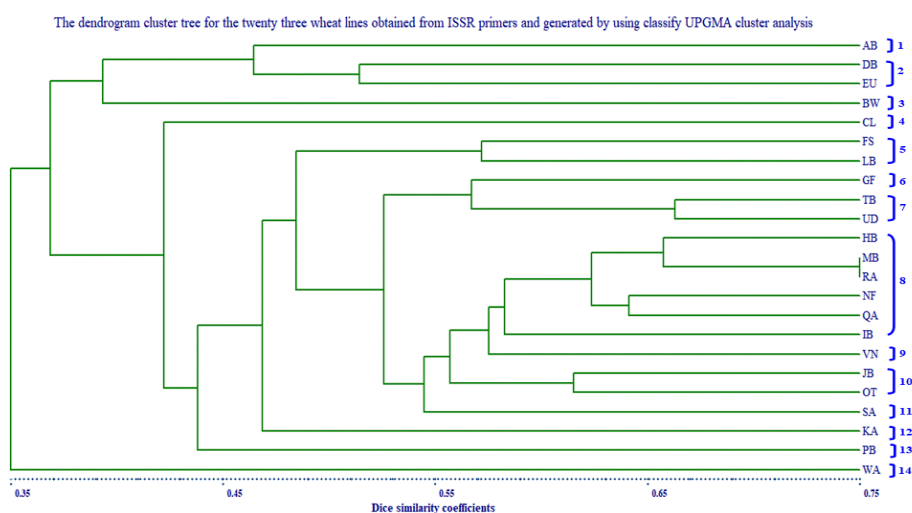


Figure 1 – Dendrogram constructed using UPGMA cluster analysis based on the Dice similarity coefficient obtained from ISSR primers for twenty-three bread wheat genotypes.

Diagnosis of drought-tolerant genotypes using PCR-SSR markers

Analysis of PCR-SSR markers by gel electrophoresis revealed radioactive bands indicating drought-tolerant genotypes (CL, NF, SA, UD, and TB) with primer Malek 1 and drought-tolerant genotypes (AB, CL, TB, UD, SA, and NF) with primer Malek 2, while the drought-sensitive genotypes PB, JB, and LB were absent for both primers, which is consistent with previous morphological and physiological results. Consequently, the drought-tolerant genotypes NF, UD, SA, TB, AB, and CL were selected for subsequent sequencing and genetic mapping studies (Fig. 2).

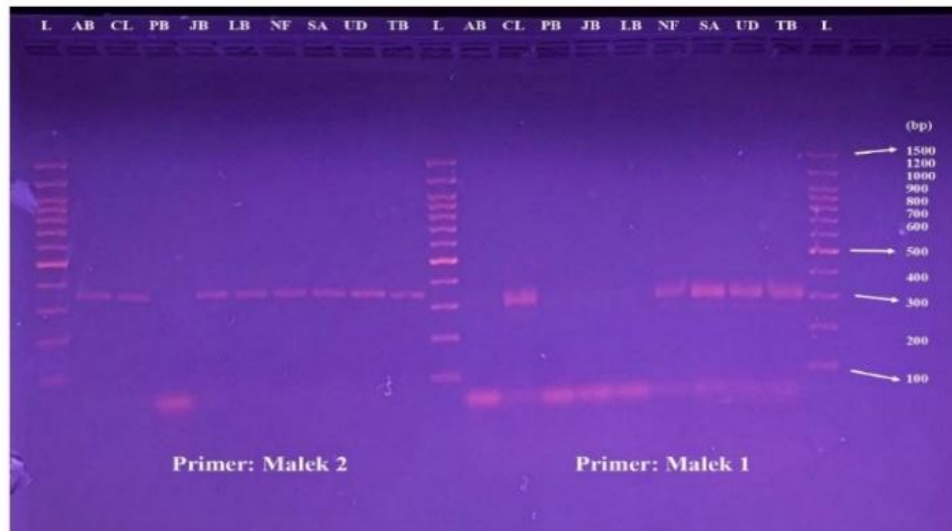


Figure 2 – Electropherogram (gel electrophoresis) of primers (Malek 1, Malek 2)

Diagnosis of salinity-tolerant genotypes using PCR-SSR markers

The PCR-SSR results obtained by gel electrophoresis showed that the primer xgwm-493 identified the salinity-tolerant genotypes AB, NF, CL, SA, UD, and TB, while the primer xcfd-18 identified the salinity-tolerant genotype CL. These radioactive bands indicate the interaction of the primers with the DNA genome of the studied genotypes, although the salinity-sensitive genotype PB did not show any bands for any of the selected primers, confirming the validity of the physiological and morphological results under field conditions. These results pave the way for the transition to the stage of genetic sequencing and identification of genes responsible for salinity tolerance, as shown in Figure 3.

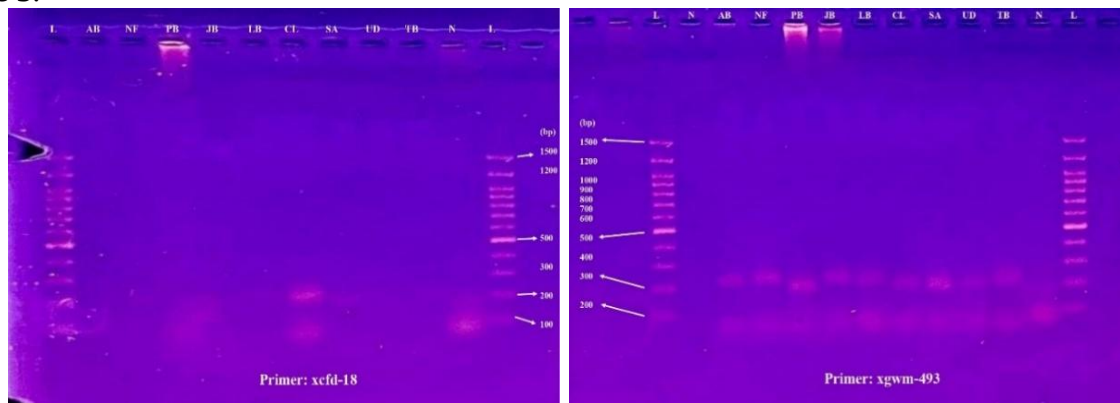


Figure 3 – Electropherogram (gel electrophoresis): (xcfd-18) and (xgwm-493)

Identification of genetic loci resistant to abiotic stress

The study focused on three loci in *Triticum* sequences: the *DRF1* gene, the *NAC20L* gene, and the microsatellite sequence. Analysis of the *DRF1* gene revealed up to 99% sequence similarity with *Triticum turgidum* (GenBank accession no. KM504244.1) in samples E1, E2, R1, R2, and R3, while 100% similarity was found for the *NAC20L* gene sequences of *Triticum aestivum* (GenBank accession no. XM_044571539.1) in samples S1, S2, S3, S4, and S5. Furthermore, complete sequence similarity was confirmed for the sequenced samples Q1, Q2, Q3, and Q4 with the microsatellite sequences of *Triticum turgidum* (GenBank accession no. AF275898.1). Details of the obtained PCR fragments and their exact positions were established for the target bacterial sequences using NCBI.

All genetic sequences listed in Table 10 were accepted for deposition on the *NCBI* web server, ensuring unique accession numbers for each analysed sequence.

Table 10 – Genetic sequences of loci resistant to abiotic stress

№.Seq	Acc.№	Acc.№.GenBank	Locus	Primers	strain	Samp	code	Genotypes
Seq1	PP873665	BankIt2835921	<i>DRF1</i> (<i>Triticum turgidum</i>)	Malek 1 (drought)	Malek-E1	E1	AB	Baraka
Seq2	PP873666				Malek-E2	E2	CL	Latifiya
Seq3	PP873667				Malek-R1	R1	NF	Faris
Seq4	PP873668				Malek-R2	R2	SA	Abo Ghurayb
Seq5	PP873669				Malek-R3	R3	TB	Buhuth 22
Seq6	PP873670		<i>NAC20L</i> (<i>Triticum aestivum</i>)	Malek 2 (drought)	Malek-S1	S1	CL	Latifiya
Seq7	PP873671				Malek-S2	S2	NF	Faris
Seq8	PP873672				Malek-S3	S3	SA	Abo Ghurayb
Seq9	PP873673				Malek-S4	S4	TB	Buhuth 22
Seq10	PP873674				Malek-S5	S5	UD	Dujela
Seq11	PP873642	BankIt2835923	<i>Microsatellite</i> (<i>Triticum turgidum</i>)	xgwm-493 (salinity)	Malek-Q1	Q1	NF	Faris
Seq12	PP873643				Malek-Q2	Q2	UD	Dujela
Seq13	PP873644				Malek-Q3	Q3	SA	Abo Ghurayb
Seq14	PP873645				Malek-Q4	Q4	TB	Buhuth 22

Note: Sequence = Seq., Accession number = Acc. No., Genetic locus = Locus, Samples = Samp.

CONCLUSION

1. Based on the results of a three-year field study (2022–2024) conducted under representative agroecological conditions of southern Iraq, a comprehensive assessment of the yield potential of 23 winter wheat genotypes was performed under the combined effect of soil drought and salinity stress. Based on the calculation of stress tolerance indices (SSI, STI) and cluster analysis, an agrotechnical differentiation of the studied material was carried out, allowing the ranking of genotypes according to their degree of adaptability to limiting environmental factors. A group of lines (Dujela, Abo Ghurayb, Buhuth 22, Faris, Baraka, Latifiya) was identified, which maintain stable formation of vegetative biomass and structural components of yield under critical values of the water-salt regime. The obtained results provide a methodological basis for optimising the regional varietal composition,

adjusting crop management parameters, and integrating stress-tolerant genotypes into adaptive farming systems of arid zones, thereby ensuring stabilisation of total grain yields while maintaining resource efficiency of production.

2. The identified physiological, agronomic, and biochemical indicators confirm that the stabilisation of the production process of winter wheat under abiotic stress conditions is determined by the ability of genotypes to maintain the functional stability of the photosynthetic apparatus and water relations. In the selected adaptive genotypes, the relative water content in leaf tissues remained within the range of 50.0–55.2% even when critical values of soil drought and salinity were reached, which prevented the deterioration of transpiration activity. The simultaneous stabilisation of the chlorophyll pool (40.5–47.7 SPAD units) created a metabolic basis for osmoregulation through the targeted accumulation of proline and the synchronous activation of enzymatic antioxidant defences (SOD, POD, CAT), minimising oxidative degradation of cellular structures. A key element of the adaptive response was the regulation of ion homeostasis: tolerant genotypes restricted sodium translocation to the shoots, maintaining the Na^+/K^+ ratio at 0.33–0.57 and preserving the intensity of nitrogen metabolism under stress conditions. The combination of these physiological indicators makes it possible to reliably differentiate the varietal composition for specific soil-climatic boundaries, adjust water and nutrient management regimes, and develop technological cultivation maps for winter wheat in arid zones with the risk of combined salinity-drought stress, which in the long term ensures yield stabilisation and enhances the resource efficiency of crop production.

3. An approach for accelerated agroecological passportisation (genetic passporting) of winter wheat varietal material, based on the combined use of ISSR and SSR markers, has been developed and validated. The application of a panel of 18 ISSR primers provided an objective assessment of genetic diversity and verification of the origin of the initial forms. The diagnostic markers Malek 1, Malek 2 and xgwm-493 demonstrated high information content for the rapid screening of genotypes regarding tolerance to a complex of limiting abiotic factors. The first time identified and deposited in the NCBI GenBank repository, 14 nucleotide sequences associated with the functional loci DRF1 and NAC20L, as well as with groups of microsatellite sequences, have expanded the instrumental basis for molecular monitoring of the seed stock. The implementation of molecular marker-mediated diagnostic elements into the regulations of regional variety testing makes it possible to differentially select tolerant varieties for soil and climatic conditions, adjust the elements of cultivation technology (sowing rates, sowing dates, and mineral nutrition regimes), and reduce the period of production tests, which ensures an increase in the predictability of gross grain harvests and optimisation of resource provision for crop production in arid zones.

4. It has been experimentally established that the preservation of grain technological properties under abiotic stress conditions is achieved primarily through the use of genotypes integrated into adaptive farming systems. When the electrical conductivity of the soil solution increased to 15 dS/m, activation of compensatory mechanisms of nitrogen metabolism was observed, manifested as an increase in the mass fraction of crude protein by 14.6% and crude gluten by 26.6% relative to the control treatment. In stress-susceptible forms, this metabolic shift was accompanied by a critical reduction in thousand-grain weight and total yield, which negated the agronomic feasibility of growing such genotypes under limiting conditions. A comprehensive comparison of field experiment data, physiological diagnostics, and molecular profiling made it possible to substantiate a technological approach: the structure of regional crop rotations and the production variety testing programme should include genotypes in which the presence of stable DNA markers is reliably correlated with the stability of yield structural components. Such differentiation of the varietal composition ensures predictable product quality, optimisation of sowing rates and nutrient management regimes, and enhances the resource efficiency of winter wheat cultivation in arid and saline agricultural lands.

5. Based on the obtained data, practical guidelines have been formulated for improving the regional farming systems of Southern Iraq. The varieties Dujela, Faris, and Buhuth 22 have been

selected as priority components of the adaptive varietal composition of winter wheat, ensuring stable realisation of yield potential under the combined impact of soil drought and salinity stress. The proposed scheme for evaluating varietal material, combining the calculation of ecological plasticity parameters, rapid diagnostics of the physiological status of crops, and molecular genetic screening, allows for the differentiated selection of genotypes according to specific soil-climatic conditions. The integration of this approach into production variety testing practice increases the reliability of yield prediction and forms a scientific-methodological basis for differentiated regulation of crop management practices (optimal sowing dates, optimal plant stand density, and water supply regime). The implementation of these solutions contributes to the stabilisation of total grain yields and enhances the resource sustainability of crop production in arid zones with the risk of soil salinisation.

LIST OF WORKS PUBLISHED ON THE TOPIC OF THE DISSERTATION.

publications in journals indexed in the international citation analytical database Scopus and Web of Science:

1. **Malek Hubaish Walli**, Genetic and environment diversity to improve wheat (*Triticum* spp.) productivity: A review/ **M.H. Walli**, Z. Al-Jubouri, [et al] // *Research on Crops*.– 2022.– Vol. 23, No, 2.– P. 295–306.– DOI: [10.31830/2348-7542.2022.041](https://doi.org/10.31830/2348-7542.2022.041) . (**Scopus**)
2. **Malek Hubaish Walli**, Impact of Global Climate Change on Soil Properties and Water Resources/ **Malek Hubaish Walli**, Meisam Zargar, [et al] // *Earth and Environmental Science*, E-ISSN (1755-1315).– 2025.– Vol. 1487, No, 1.– P. 012203.– DOI: [10.1088/1755-1315/1487/1/012203](https://doi.org/10.1088/1755-1315/1487/1/012203) . (**Scopus**)
3. **Malek Hubaish Walli**, Influence of growth regulators on the formation of main indicators of photosynthetic activity in amaranth (*Amaranthus tricolor*) varieties/ Kristina Shevchenko, **Malek Hubaish Walli**, [et al] // *Research on Crops*.– 2022.– Vol. 23, No, 1.– P. 187–192.– DOI: [10.31830/2348-7542.2022.025](https://doi.org/10.31830/2348-7542.2022.025). (**Scopus**)

Publications in peer-reviewed scientific journals

4. **Malek Hubaish Wall**, Evaluation of 23 Wheat Genotypes (*Triticum aestivum* L.) for Water Stress Based on Physiological Indices and Grain Yield / **Walli M H, Duksi F** // *Научный журнал КъГГАУ*,– 2026 – Vol, 3, № 217,– P. 1– 14.– DOI: [10.21515/1990-4665-217-001](https://doi.org/10.21515/1990-4665-217-001) (**K2**)
5. **Malek Hubaish Wall**, Identification of drought-tolerant bread wheat *Triticum aestivum* L. genetic resources using molecular markers / **Malek H. Walli**, [et al] // *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*,– 2026 – Vol, 21., № (1),– P. (41– 54). <https://doi.org/10.22363/2312-797X-2026-21-1-41-54> (**K2**)

Publishing in other scientific journals

6. **Malek Hubaish Wall**, Selection of Salinity-Tolerant Wheat (*Triticum aestivum* L.) Lines to Improve Production Yields Under Climate Change/ **Malek H Walli**, Fatima Duksi, [et al] // *International Journal of Environmental Sciences*.– 2025.– Vol. 11, No, 25s.– P. 2112-2126.– DOI: <https://doi.org/10.64252/eyy1bx54>.
7. **Malek Hubaish Walli**, Assessment of Genetic and Phenotypic Parameters, as well as Correlations and Analysis of the Dynamics of Productivity Indicators of Wheat Genotypes (*Triticum aestivum* L.) In Conditions of Salt Stress/ **WALLI M.H.**, ZARGAR MAYSAM, ALKHASNAVI A.N, [et al] // *Problems of development of the regional agro-industrial complex Scientific and*

practical journal, "Dagestan State Agrarian University".– 2025.– Vol. 62, No, 2.– P. 36–44.– DOI: <https://doi.org/10.52671/20790996> , <https://apk05.ru/arkhiv>.

8. **Malek Hubaish Walli**, Fungal diseases of wheat in Russia: spread, symptoms, control methods and economic damage - a review/ F. Duksi, **M.H. Walli**, M. Zargar // News of the Kabardino-Balkarian Scientific Centre of the Russian Academy of Sciences.– 2025.– Vol. 27, No, 3.– P. 121–132.– DOI: <https://doi.org/10.35330/1991-6639-2025-27-3-121-132>. (K2)

9. **Malek Hubaish Walli**, Biochemical Mechanisms Regulating Salt Tolerance in Plants: A review/ Arshad Naji Alhasnawi, **Malek Hubaish Walli**, Febri Doni // Journal of University of Babylon for Pure and Applied Sciences (JUBPAS) .– 2025.– Vol. 33, No, 2.– P. 122–140.– DOI: [10.29196/jubpas.v33i.5936](https://doi.org/10.29196/jubpas.v33i.5936) .

Abstracts and conference materials

10. **Malek Hubaish Walli**, Climate Change Impacts Food Safety and Reduction of Cereal Crops in Agricultural Land. **Malek Hubaish Walli**, Meisam Zargar/ IV International Conference "Food Safety and Quality" September 30 - October 2, 2024, Patrice Lumumba Peoples' Friendship University of Russia, Moscow. www.fqfs.org.

11. **Malek Hubaish Walli**, Endophytic Bacteria of Wheat Seeds: PCR and Sequencing, Duksi F., **Walli M.**, [et al] /XVII International Scientific and Practical Conference of Young Scientists "Innovative Processes in the Agro-Industrial Complex" Organizer: Agrarian and Technological Institute, Moscow: RUDN University, April 23-24, 2025.– P. 441–444, ISBN 978-5-209-12699-7.

12. **Malek Hubaish Walli**, Study of Endophytic Fungi of Spring Wheat Seeds Using Microscopy Methods. Duksi Fatima, **Malek Hubaish Walli** / Practical conference of young scientists with international participation "FUNDAMENTAL AND APPLIED RESEARCH IN BOTANY, ECOLOGY, AND PLANT GROWING" Russian Federation, Republic of Crimea, May 26-30, 2025.

ABSTRACT

ABIOTIC FACTORS AND RESISTANCE OF DIFFERENT WINTER WHEAT VARIETIES IN THE CONDITIONS OF SOUTHERN IRAQ

ALBO HUSSAIN MALIK HIBAISH WALLI

Currently, global climate change leads to increased abiotic stresses, threats to food security, and economic losses. The aim of this study was to evaluate the tolerance of different winter wheat varieties (*Triticum aestivum* L.) to abiotic stresses using morphological, physiological, biochemical, and molecular indicators. Field experiments were conducted in southern Iraq over three years (2022–2024). The study revealed that the varieties Dujela and Abo Ghurayb exhibited high tolerance to both salinity and drought, while Faris was highly tolerant to salinity and moderately tolerant to drought. The variety Buhuth 22 showed moderate tolerance to salinity and high tolerance to drought. The varieties Baraka and Latifiya demonstrated moderate tolerance to stresses caused by salinity and drought. Fourteen gene sequences were identified for varieties that showed tolerance, associated with gene loci conferring resistance to salinity and drought. All investigated genetic sequences were deposited on the NCBI web server with unique accession numbers assigned.

Keywords: Abiotic stress, Winter wheat, Salinity, Drought, Molecular markers, Gene sequences.

АННОТАЦИЯ

АБИОТИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ И УСТОЙЧИВОСТЬ РАЗНЫХ СОРТОВ ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ В УСЛОВИЯХ ЮЖНОГО ИРАКА

АЛЬБО ХУСЕЙН МАЛИК ХИБАЙШ ВАЛЛИ

В настоящее время глобальное изменение климата приводит к усилению абиотических стрессов, созданию угроз для продовольственной безопасности и экономическим потерям. Целью данного исследования было оценить толерантность различных сортов озимой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) к абиотическим стрессам с использованием морфологических, физиологических, биохимических и молекулярных показателей. Полевые эксперименты проводились на юге Ирака в течение трёх лет (2022–2024 гг.). Исследование выявило, что сорта Dujela и Abo Ghurayb проявили высокую толерантность как к засолению, так и к засухе, в то время как Faris был высоко толерантен к засолению и умеренно толерантен к засухе. Сорт Buhuth22 показал умеренную толерантность к засолению и высокую толерантность к засухе. Сорта Baraka и Latifiya продемонстрировали умеренную толерантность к стрессам, вызванным засолением и засухой. Было идентифицировано 14 последовательностей генов для сортов, проявивших толерантность, ассоциированных с локусами генов, обеспечивающими устойчивость к засолению и засухе. Все исследованные генетические последовательности были депонированы на веб-сервере NCBI с присвоением уникальных индексов доступа (номеров регистрации).

Ключевые слова: абиотический стресс, озимая пшеница, засоление, засуха, молекулярные маркеры, последовательности генов.

АЛЬБО ХУССЕЙН МАЛИК ХИБАЙШ ВАЛЛИ

**АБИОТИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ И УСТОЙЧИВОСТЬ РАЗНЫХ СОРТОВ ОЗИМОЙ
ПШЕНИЦЫ В УСЛОВИЯХ ЮЖНОГО ИРАКА**

Специальности

4.1.1. Общее земледелие и растениеводство

4.1.2. Селекция, семеноводство и биотехнология растений

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание учёной степени
кандидата биологических наук

Москва – 2026

Диссертационная работа выполнена в агробиотехнологическом департаменте аграрно–технологического института Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы»

**Научные
руководители:**

Заргар Мейсам, доктор сельскохозяйственных наук, доцент, профессор агробиотехнологического департамента аграрно–технологического института, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы»

Пакина Елена Николаевна, доктор сельскохозяйственных наук, доцент, профессор агробиотехнологического департамента аграрно–технологического института, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы»

**Официальные
оппоненты:**

Темирбекова Сулухан Кудайбердиевна, профессор, доктор биологических наук, ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт фитопатологии, ведущий научный сотрудник

Баматов Ибрагим Мусаевич, доктор биологических наук, директор Всероссийского научно-исследовательского института мелиорированных земель - филиал ФГБНУ ФИЦ «Почвенный институт им. В.В. Докучаева»

Ведущая организация:

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный исследовательский центр «Немчиновка» 121205, Россия, г. Москва, территория Инновационного центра Сколково, бульвар Большой, дом 30, строение 1, офис 304

Защита диссертации состоится «9» октября 2026 г. в ____ часов на заседании диссертационного совета ПДС 2021.004 при ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы» (РУДН) по адресу: 117198, г. Москва, ул. Миклухо–Маклая, д. 8, корп. 2. С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке в УНИБЦ (Научной библиотеке) ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы» (РУДН) по адресу: 117198, г. Москва, ул. Миклухо–Маклая, д. 6, и на сайте: <https://www.rudn.ru/science/dissovet>.

Автореферат разослан «____» сентября 2026 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета ПДС 2021.004,
кандидат сельскохозяйственных наук

В.А. Бурлуцкий

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность исследований. В современных условиях глобальное изменение климата выступает ключевым фактором, трансформирующим агроэкологическую обстановку. Это проявляется в устойчивом повышении среднегодовых температур, дестабилизации режима увлажнения и росте частоты экстремальных погодных явлений. В этой связи засуха и засоление почв определяются как наиболее критичные абиотические лимитирующие факторы, представляющие прямую угрозу устойчивости растениеводства и глобальной продовольственной безопасности. Селекция устойчивых генотипов является одним из методов смягчения воздействия абиотических факторов окружающей среды.

Степень разработанности темы исследований. Проблематика влияния климатических изменений на процессы засоления почв, эффективность методов орошения и состояние мировых водных ресурсов, а также их воздействие на возделывание стратегически важных культур (рис, пшеница, кукуруза, ячмень), нашла широкое отражение в современной научной литературе (UNCCD, 2017). Макроэкономические последствия и прогнозы снижения сельскохозяйственного производства детально проанализированы в работах международных организаций и независимых исследователей, оценивающих потенциальные убытки развивающихся стран к 2050 г. и риски сокращения валового производства (United Nations, 2015; Cline, 2007; Adger et al., 2003; Walli, AL-Jubouri, 2022). Региональные аспекты деградации орошаемых земель, в частности на примере Ирака, исследованы в трудах Qureshi и Al-Falahi (2015), а также Al-Jassim (2021), которые обосновали прямую угрозу продовольственной безопасности и социальной стабильности вследствие прогрессирующего засоления и засухи. Приоритетные направления адаптации, включая разработку стрессоустойчивых генотипов, освещены в исследованиях Zandwijk et al. (2021). Генетические и селекционные аспекты создания новых сортов пшеницы, а также подтвержденная эмпирически экономическая эффективность их внедрения (прирост урожайности и высокое соотношение выгод и затрат), подробно рассмотрены в работах Ray et al. (2013) и Meena et al. (2020).

Цель исследования: выявить уровень агроэкологической адаптации и стрессоустойчивости сортов озимой пшеницы к комплексу абиотических лимитирующих факторов (дефицит почвенной влаги, высокие вегетационные температуры, засоление) в условиях Южного Ирака для научно обоснованного отбора стабильно продуктивных генотипов и разработки практических рекомендаций по оптимизации сортового состава в системе зернового производства региона.

Задачи исследования.

1. Оценить адаптивный потенциал и стабильность продукционного процесса сортов озимой пшеницы при совместном действии почвенной засухи и засоления посредством комплексного анализа морфометрических признаков и элементов структуры урожая.
2. Установить корреляционные зависимости между физиологическими индикаторами адаптивности (относительное содержание воды в листьях, концентрация фотосинтетических пигментов, активность ферментативной и неферментативной антиоксидантной системы) и продуктивностью озимой пшеницы для обоснования агрономических критериев отбора сортов в лимитирующих условиях.
3. Провести агроэкологическую дифференциацию и ранжирование сортового материала на основе интегральной оценки морфофизиологических и молекулярных индикаторов для индивидуализированного подбора стресс-толерантных генотипов и оптимизации регионального адаптивного сортимента.
4. Выявить морфофизиологические и молекулярные индикаторы адаптивности озимой пшеницы к комплексному засолению и дефициту влаги, обосновав их диагностическую значимость для прогнозирования продуктивности и дифференцированного подбора сортов в аридных регионах.

5. Сформировать практические рекомендации по дифференцированному подбору сортов и корректировке элементов технологии возделывания озимой пшеницы в почвенно-климатических условиях Южного Ирака, обеспечивающие стабилизацию продуктивности и сохранение технологических свойств зерна.

Научная новизна. Впервые выполнена комплексная агроэкологическая стратификация 23 генотипов озимой пшеницы в условиях совместного засоления и почвенной засухи на юге Ирака, позволившая отобрать сорта Dujela, Faris и Buhuth 22 в качестве стабильных компонентов адаптивного сортимента. Разработан оригинальный комплекс SSR-ПЦР-маркеров, включающий стресс-специфичные детекторы Malik 1 и Malik 2, который обеспечивает раннюю диагностику толерантности и сокращает цикл производственного сортоиспытания. Впервые установлена достоверная сопряжённость локусов DRF1, NAC20L и микросателлитных повторов с полевыми параметрами стрессоустойчивости. Четырнадцать депонированных в NCBI GenBank последовательностей интегрированы в регламент предиктивного сортотестирования, формируя научно-методический базис для оптимизации региональных сортотехнологий в лимитированных агроэкосистемах.

Теоретическая и практическая значимость. Уточнены теоретические положения о закономерностях формирования продуктивности озимой пшеницы в условиях комплексного засушливо-солевого стресса. Установленная сопряжённость полевых морфофизиологических реакций с молекулярно-генетическими маркерами обеспечивает научное обоснование для прогнозируемой агроэкологической стратификации сортов. Выявленные взаимосвязи интегральных показателей урожайности и экспресс-диагностики расширяют концепцию управляемого продукционного процесса и формируют теоретический базис для проектирования адаптивных сортотехнологий в лимитированных агроэкосистемах.

Для агротехнологической практики Южного Ирака подготовлены к производственному внедрению сорта озимой пшеницы Dujela, Faris и Buhuth 22, сохраняющие стабильную продуктивность при комплексном дефиците влаги и засолении почв. Экспресс-диагностика на базе SSR-ПЦР-маркеров (Malik 1, Malik 2) интегрирована в схему ранней стратификации посевного материала, сокращая цикл производственного апробирования на 30–40 %.

Объект и предмет исследований. Объектом исследования являются сорта мягкой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) и их адаптивные реакции на воздействие абиотических стрессоров (засоления и засухи). Предмет исследований – агроэкологические и продуктивные проявления фенотипической пластичности сортов озимой пшеницы при воздействии комплекса лимитирующих почвенно-климатических факторов (дефицит доступной влаги, высокотемпературный стресс, вторичное засоление корнеобитаемого слоя) в агроклиматических условиях Южного Ирака.

Методология и методы исследований. Теоретико-методологический базис работы опирается на принципы адаптивного земледелия и концепцию управляемого продукционного процесса, где формирование урожайности озимой пшеницы рассматривается как результат регулируемого взаимодействия генетического потенциала с лимитирующими факторами среды. Методическая стратегия предусматривает интеграцию полевого, физиологического и молекулярного мониторинга в систему сортотехнологического обеспечения аридных регионов. Полевые испытания проведены в условиях Южного Ирака по схеме рандомизированных блоков с соблюдением зональных агротехнических норм; учёт фенологии, элементов структуры урожая и продуктивности выполнен по регламентам ВИР и Госсорткомиссии РФ. Физиолого-биохимический скрининг (водный статус, пигментный комплекс, антиоксидантная активность, накопление осмопротекторов) и молекулярно-генетическое типирование (ISSR/SSR-ПЦР) применены как диагностические инструменты для ранней оценки адаптивного потенциала и обоснования дифференцированных приёмов возделывания. Статистическая обработка данных включала дисперсионный анализ, корреляционно-регрессионное моделирование, расчёт коэффициентов экологической

пластичности и стабильности (методы Finlay–Wilkinson, Eberhart–Russell), а также кластеризацию сортов. Надёжность выводов обеспечена многократной повторностью опытов, использованием аттестованных лабораторных протоколов, перекрёстной проверкой полевых и лабораторных индикаторов и статистической достоверностью зависимостей.

Положения, выносимые на защиту.

1. Закономерность формирования продуктивности озимой пшеницы в условиях взаимосвязанного засоленно-аридного стресса.

2. Адаптивная ценность сортов озимой пшеницы Dujela, Faris и Buhuth 22 в условиях сопряжённого воздействия засухи и засоления, проявляющаяся в устойчивом формировании структурных элементов колоса при критических значениях водно-солевого режима.

3. Диагностическая ценность комплекса SSR-маркеров, включающего стресс-ориентированные праймеры Malik 1 и Malik 2, обеспечивающего экспресс-оценку адаптивного потенциала сортов озимой пшеницы к лимитирующим абиотическим факторам.

4. Скоординированность количественных показателей урожайности озимой пшеницы с качественными параметрами зерна (массовая доля сырой клейковины, натура, стекловидность) в условиях взаимосвязанного засоленно-аридного стресса.

Степень достоверности и апробации результатов исследований обеспечивается достаточным объемом и многолетними экспериментальными данными, полученными в течение трех полевых сезонов (2021–2024 гг.) на репрезентативной выборке из 23 сортов мягкой пшеницы с использованием метода расщепленных делянок (split-plot) и трехкратной повторности. Достоверность выводов подтверждается применением общепринятых в мировой практике стандартизированных методик и строгой математико-статистической обработкой массивов данных (дисперсионный анализ, LSD, кластерный анализ Уорда, корреляция Пирсона) в специализированных программных пакетах. Ключевым фактором достоверности является сходимость результатов, полученных на разных уровнях организации: выявленные морфо-физиологические и биохимические адаптации толерантных сортов полностью подтверждены данными молекулярной диагностики (ПЦР-ISSR/SSR) и верифицированы путем депонирования 14 новых нуклеотидных последовательностей в международную базу данных GenBank (NCBI).

Тезисы и статьи, основанные на результатах исследования, были представлены на нескольких конференциях, включая: конференцию Университета Куфы 2025 года на тему «Роль научных исследований в решении сельскохозяйственных проблем» в Ираке; конференцию Университета Аль-Мутанна 2025 года «Первая научная конференция по управлению научными исследованиями в целях устойчивого развития» в Ираке; а также конференцию Университета дружбы народов 2024 года – Международную конференцию по качеству и безопасности пищевых продуктов в России.

Публикации по результатам диссертационного исследования: Опубликовано 12 научных работ, в том числе 3 статьи в научных журналах, индексируемых в Scopus/WOS, 2 статьи в рецензируемых научных журналах, входящих в список ВАК, 4 статьи в других журналах и 3 тезиса на международных конференциях.

Структура и объём диссертации. Диссертация состоит из 216 страниц, разделённых на введение, три основные главы и заключение. Она включает 44 таблицы, 46 рисунков и 18 приложений. Список литературы содержит 237 источников.

Личный вклад автора. Соискатель участвовал в формулировке целей и задач исследования, собирал и анализировал данные, обрабатывал и интерпретировал результаты, а также готовил публикации.

СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Глава 1 «Обзор литературы» посвящена анализу современных научных данных о глобальной значимости пшеницы и влиянии абиотических стрессов (засухи и засоления), усугубляемых глобальным изменением климата, на морфофизиологические и биохимические показатели растений. Также в ней обоснована роль генетики и селекции в создании стрессоустойчивых сортов и нивелировании негативных последствий данных факторов для сельскохозяйственного производства.

Глава 2 «Материалы и методы» описывает объекты, условия и методологию исследований, а также методы сбора, обработки и статистического анализа экспериментальных данных. Полевые исследования проводились на опытном участке, расположенном на юге Ирака (координаты: 31.3518° с.ш., 45.2211° в.д.), в течение трех вегетационных сезонов: 2021/2022, 2022/2023 и 2023/2024 гг. Климат региона характеризуется как аридный (тип BWh по классификации Кёппена).

Материалом исследований служили 23 сорта мягкой пшеницы (*Triticum aestivum* L.), происхождение и родословная которых представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Сорта пшеницы, использованные в исследовании

№ п/п	Сорт	Код	Родословная	Происхождение	Источник
1	2	3	4	5	6
1	Baraka	AB	IARI × STD	Ирак / Гибридизация	Министерство науки и технологий \ Центр семенных технологий
2	Wafia	BW	Attila / 3* Pastor, (CIMMYT, ICARDA)	Франция / Гибридизация	Компания Shuruq Al Nahar по поставкам сельскохозяйственной продукции
3	Latifiya	CL	Australian breed × Aras	Ирак / Гибридизация	Министерство науки и технологий \ Департамент сельскохозяйственных исследований – Исследовательская станция Латифия
4	Binakal	DB	BISU/3/YAV79/ ALOI/ALTARS4/ CD93683.7Y.040M-03 OY- LPAP.B	Испания / Гибридизация	Компания Alreef Alkhadraa по общей торговле и сельскохозяйственным поставкам. Испанская компания Fito Semillas
5	Uruk	EU	Inia 66 (Rad) Radiation of seeds of Enya 66	Ирак / Радиация	Институт генной инженерии и биотехнологии \ Багдадский университет
6	Fateh	GF	MixPac × Aras	Ирак / Гибридизация	Министерство сельского хозяйства / Департамент сельскохозяйственных исследований
7	Buhuth 10	HB	Abaa 95 × Abaa 99		
8	Abba 95	QA	Veery eer (CIMMYT)		
9	Abba 99	RA	Ures/Bow's//Pollmer's (CIMMYT and ICARDA)		

10	Buhuth 22	TB	CMSS96Y03236M-050M-040M-020M-050Sy-020sy-IM-0Y	Ирак / Радиация	Министерство сельского хозяйства / Департамент сельскохозяйственных исследований
11	Buhuth 158	IB	119-S2/57-S2. Cr7.S2		
12	Sham	FS	W-3018-A/JUPATECO-73		

Окончание табл. 1

1	2	3	4	5	6
13	Babul 113	JB	MEXIPAK/R23	Ирак / Радиация	Иракская организация по атомной энергии
14	Al Iraq	KA	Radiation of Mexipac seeds with full cobalt 60 doses and 10 kilos rad, Max. (Rad)		
15	Bwru	LB	H31/Trapf21 / Enesco	Италия / Гибридизация	Компания Debbana Modern Agriculture
16	Baghdad	MB	MX105-6MVL40 / BNSN	Ирак / Гибридизация	Министерство науки и технологий, Департамент сельскохозяйственных исследований и пищевых технологий
17	Abo ghurayb	SA	Ajeeba × Lian 12 × Mexico24		
18	Buhuth	PB	118//S2/57-S2-CR7-S2		
19	Faris	NF	STAR/TR77/773/SLMS	Ирак / Радиация	Иракская организация по атомной энергии
20	Tammuz	OT	Exposing the resulting hybrid (Maxipac x Saber Beek) to radiation	Ирак / Гибридизация и радиация	
21	Dujela	UD	8409644HS2-6H	Ирак / Радиация	Сельскохозяйственный колледж - Университет Аль-Мутанна
22	Nemchinovka	VN	(Donshchina × Pamyati Fedina) × Moskovskaya 39	Россия / Гибридизация	Аграрно – технологический институт РУДН
23	Abo Raghif	WA	Inia 66 / 2 * Mexipak	Турция / Гибридизация	Сельскохозяйственный колледж – Университет Аль – Мутанна

Опыт заложен методом расщепленных делянок (split-plot design) в трехкратной повторности.

Фактор А (главные делянки) – солевой стресс: контроль (5 дСм/м, естественная минерализация воды), умеренный стресс (10 дСм/м) и сильный стресс (15 дСм/м). Дозированное внесение NaCl контролировали портативным кондуктометром (HANNA, HI98304 DiST 4).

Фактор В (субделянки) – водный стресс (засуха): контроль (90 % полевой влагоёмкости – ПВ), умеренный (60 % ПВ) и сильный (30 % ПВ). Влагозапасы и поливные нормы рассчитывали на основе определения ПВ и влажности устойчивого завядания методом отжимных пластинок (по L.A. Richards).

Фактор С (субделянки 3-го порядка): 23 сорта пшеницы.

Посев проводили в ноябре. Орошение выполнялось методом капельного полива (КПД 85 %), что позволяло строго дозировать подачу воды и исключить перетекание растворов между делянками. Стрессовые факторы создавали постепенно, начиная с фазы прорастания, и поддерживали до уборки урожая. Агротехника – общепринятая для зоны проведения опыта.

В процессе исследований проводили следующие методы сбора и оценки данных.

Морфологические признаки и урожайность. Учетную уборку проводили в фазу полной спелости. Определяли высоту растений, продуктивную кустистость, площадь

флагового листа (FLA, $\text{см}^2 = \text{длина} \times \text{ширина} \times 0,95$), массу зерна с колоса, массу 1000 зерен, биологическую и хозяйственную урожайность (т/га).

Индексы толерантности. Для оценки реакции генотипов на стресс рассчитывали: интенсивность стресса (SI), индекс урожайности (YI), индекс стабильности урожайности (YSI), индекс толерантности к стрессу (STI) и индекс чувствительности к стрессу (SSI) по стандартным формулам (Fischer & Maurer, 1978; Fernandez, 1992; Jaddoa, 2017), где Y_s и Y_p – урожайность сорта в стрессовых и контрольных условиях соответственно.

Физиологические параметры. Содержание хлорофилла оценивали *in situ* с помощью SPAD-метра. Содержание пролина определяли по методу Bates et al. (1973). Относительное содержание воды в тканях (RWC, %) рассчитывали по формуле: $\text{RWC} = (\text{FW} - \text{DW}) / (\text{TW} - \text{DW}) \times 100$, где FW, DW и TW – сырой, сухой и тургорный вес образца соответственно.

Биохимические и ферментативные показатели. Активность антиоксидантных ферментов (SOD, POD, CAT) и концентрацию активных форм кислорода (H_2O_2) определяли спектрофотометрически по общепринятым методикам. Содержание общего азота (N) выявляли методом Кьельдаля. Концентрацию ионов Na^+ и K^+ измеряли на пламенном фотометре (Model FF-200), рассчитывали соотношение Na^+/K^+ .

Качество зерна. Содержание белка, крахмала, сырой клейковины и влаги в зерне определяли методом ближней инфракрасной спектроскопии (NIR) с использованием анализатора Perten Instruments AM 5200-M.

Молекулярно-генетический анализ.

Выделение ДНК и ПЦР. Тотальную ДНК выделяли из свежих листьев 10-дневных сеянцев с использованием набора FAVORGEN (Plant Genomic DNA Extraction Maxi Kit). Амплификацию проводили в стандартном режиме: начальная денатурация 94°C (3 мин), 32 цикла (94°C – 30 с, отжиг – 30 с, 72°C – 1 мин), финальная элонгация 72°C (5 мин).

ISSR-анализ. Для оценки генетического разнообразия и построения генетических «отпечатков» (DNA fingerprinting) впервые для генома пшеницы были подобраны и применены 20 ISSR-праймеров (таблица 2). Проанализировано 460 образцов.

Таблица 2 – Последовательности 20 ISSR-праймеров, использованных в исследовании

Праймер	Последовательность (5' -- 3')	Длина, п. н.	Температура отжига, $^\circ\text{C}$
ISSR-1	(AG)9C	19	58
ISSR-2	(AC)8G	17	52
ISSR-3	(AG)8T	17	50
ISSR-4	(TG)8C	17	52
ISSR-5	(AC)8Y	17	48
ISSR-6	A(CAG)5	16	52
ISSR-7	B(CT)8Y	18	50
ISSR-8	R(ACA)5	16	40
ISSR-9	(CAC)7G	22	74
ISSR-10	(CT)9Y	19	56
ISSR-11	(CA)8DT	18	50
ISSR-12	(CTC)6G	19	64
ISSR-13	(GT)8C	17	52
ISSR-14	G(CA)8	17	52
ISSR-15	(GAA)7	21	56
ISSR-16	(GA)8V	17	48
ISSR-17	(GT)8C	17	52
ISSR-18	(GA)8G	17	52
ISSR-19	(GA)8HC	18	52
ISSR-20	(GACA)5	20	60

Примечание: В = C/G/T; D = A/G/T; H = A/C/T; R = A/G; V = A/C/G; Y = C/T

SSR-анализ (микросателлиты). Для молекулярной маркиции толерантных генотипов (выделенных по результатам фенотипирования в кластеры А и В) и чувствительных (кластеры С и D) использовали 4 пары SSR-праймеров, включая два вновь разработанных праймера (*Malek 1* и *Malek 2*), а также известные маркеры *xcd-18*, *xgwm-493*, *Xgwm130*, *Xwmc245* (таблица 3). Проанализировано 72 образца.

Таблица 3 – SSR-праймеры для выявления сортов, толерантных к засухе и засолению

Стресс	Праймер	Последовательность (5' – 3')	Длина, п. н.	Температура отжига, °С	Источник
Засуха	Malek 1	F: GGTAGATCGGAAGGACGCTG / R: CAGGGGGCTCATCACCAAAAT	20/20	64/62	Новый
	Malek 2	F: ATTGCAAGGAGCACATCCGA / R: TCAGCATCATGGAAGGCAGG	20/20	60/62	Новый
	Xgwm 130	F: AGCTCTGCTTCACGAGGAAG / R: CTCCTCTTTATATCGCGTCCC	20/21	62/64	Haque et al., 2021
	Xwmc 245	F: GCTCAGATCATCCACCAACTTC / R: AGATGCTCTGGGAGAGTCCTTA	22/22	66/66	Thungo et al., 2020
Засоление	Xcd-18	F: CATCCAACAGCACCAAGAGA / R: GCTACTACTATTCATTGCGACCA	20/24	60/65	Hannan et al., 2021
	Xgwm-493	F: ATCGCATGATGCACGTAGAG / R: ACATGCATGCCTACCTAATGG	20/21	60/62	Vaja et al., 2016

Секвенирование и биоинформатика. Ампликоны, специфичные для толерантных сортов, секвенировали по методу Сэнгера (Macrogen Inc., Южная Корея). Выявленные нуклеотидные замены анализировали на предмет влияния на аминокислотную последовательность целевых белков с использованием сервера ExPASy Translate. Полученные последовательности депонированы в международную базу данных NCBI GenBank.

Статистический анализ данных. Первичную обработку результатов электрофореза (бинарное кодирование наличия/отсутствия полос) проводили в ПО Gel Analyzer. Для нивелирования различий в единицах измерения морфологических и физиологических признаков данные стандартизировали (расчет Z-оценок). Генетическое сходство оценивали по коэффициенту Дайса, кластерный анализ (метод Уорда) выполняли на основе матрицы евклидовых расстояний. Дисперсионный анализ (ANOVA) и сравнение средних значений проводили с использованием LSD-теста (наименьшей существенной разности) при уровне значимости $p \leq 0,05$ в программах Statistix 8.1 и SPSS. Корреляционный анализ Пирсона выполняли в ПО OPSTAT. Расчет полиморфизма (PIC, EMR, MI, Rp) проводили по стандартным формулам молекулярной генетики.

Глава 3 Результаты и обсуждение

3.1 Результаты морфологических признаков сортов, подверженных воздействию абиотических стрессов

3.1.1 Морфологические признаки генотипов

Результаты морфологических данных, представленные в таблице 4, не выявили достоверных различий ($p > 0,05$) между сельскохозяйственными сезонами (2022–2024 гг.) для большинства морфологических признаков. Эта согласованность подтверждает генетическую стабильность сортов, которые были оценены в условиях солевого стресса и засухи. Такая

стабильность была обусловлена несколькими методологическими факторами: высокой эффективностью (85 %) системы капельного орошения, обеспечившей точное распределение воды; использованием метода плато для точного определения влажности почвы и расчёта потребности в воде; а также относительной однородностью климатических условий, включая количество осадков и температуру, в течение периода исследования. Эти объединённые факторы минимизировали средовую дисперсию. Генотипы SA, NF, UD, TB, CL и AB имели самые высокие средние значения и низкие значения стандартного отклонения (SD), а также положительные значения Z-показателя по морфологическим признакам под воздействием солевого стресса и засухи по изученным признакам.

Таблица 4 – Средние значения морфологических признаков и элементов продуктивности генотипов мягкой пшеницы в условиях засухи и засоления (2022–2024 гг.)

Генотип	Стрессовый фактор	Биомасса, г/раст.	Масса 1000 зерен, г	Урожайность, т/га	Площадь флагового листа, см ²	Высота растения, см	Количество стеблей, шт./раст.
AB	Засуха/Засоление	72,9/83,9	52,3/59,6	5,69/6,18	66,6/68,2	84,5/91,3	9,3/9,9
BW		80,7/88,4	46,1/54,8	5,04/5,37	45,6/47,2	68,2/75,9	6,6/7,5
CL		97,8/108,0	36,2/44,1	6,06/6,37	39,0/40,6	103,7/110,8	10,4/10,5
DB		67,7/74,4	41,0/49,9	4,23/4,17	42,7/44,3	79,7/87,7	8,1/9,5
EU		76,5/85,4	33,7/42,8	4,83/5,08	34,0/35,6	49,7/57,6	5,7/6,5
FS		54,3/59,7	21,7/31,2	2,79/3,25	27,6/29,2	41,2/49,2	6,8/7,8
GF		62,3/94,2	30,9/40,1	3,5/6,15	41,4/43,1	79,2/86,6	7,7/8,6
HB		64,1/90,5	40,2/49,1	3,75/5,51	46,0/47,7	65,5/73,1	4,6/5,0
IB		60,3/91,6	42,0/50,9	3,48/5,72	39,3/41,0	71,3/78,8	8,5/3,9
JB		63,7/71,1	35,6/44,7	3,74/3,92	39,3/40,9	96,7/103,8	8,0/8,8
KA		70,7/66,5	52,5/61,0	4,39/3,89	42,4/44,1	85,8/93,1	6,9/7,8
LB		84,0/77,9	31,2/40,4	5,67/4,68	12,5/14,1	39,3/47,3	7,3/8,9
MB		67,2/71,7	42,6/51,5	3,79/4,17	35,7/37,3	76,1/83,6	7,2/8,2
NF		99,5/110,8	62,3/70,5	6,38/8,03	58,5/60,1	110,6/117,5	10,8/11,1
OT		54,6/65,2	23,3/32,7	3,2/3,61	36,0/37,6	68,7/76,3	7,1/8,1
PB		50,3/62,3	26,8/36,1	2,7/3,32	29,6/31,3	83,6/91,0	5,9/6,9
QA		80,2/86,9	25,7/35,0	4,95/5,29	33,2/34,8	82,0/89,5	3,7/4,8
RA		75,0/79,5	27,7/35,8	4,63/4,83	33,9/35,5	87,5/94,9	6,5/7,5
SA		99,6/124,5	35,2/43,1	7,49/8,32	43,7/45,3	78,2/85,6	11,0/13,2
TB		101,1/104,0	33,9/43,0	7,51/6,72	34,7/35,9	83,7/87,7	11,4/11,1
UD		118,2/115,0	28,0/37,2	7,77/8,05	10,1/11,1	49,2/57,0	11,9/11,6
VN		78,0/88,7	17,7/24,7	4,91/5,41	17,0/18,7	30,1/37,7	8,9/9,8
WA		81,4/76,0	36,1/45,1	5,25/4,2	28,5/30,2	78,5/85,9	7,3/8,3
Среднее		76,5/85,9	35,8/44,5	4,86/5,31	36,4/38,0	73,6/80,9	7,9/8,5
HCP ₀₅		1,55/1,43	2,72/2,66	0,08/0,08	1,36/1,36	5,79/2,86	0,28/0,31

3.1.2 Оценка содержания зерна пшеницы под влиянием солевого стресса и засухи

Анализ биохимических показателей зерна (табл. 5) свидетельствует о том, что воздействие абиотических стрессоров оказывает дифференцированное влияние на его качество. Установлено, что засуха показывает более выраженное ингибирующее действие на биохимический состав зерна по сравнению с засолением. При этом идентифицирован ряд генотипов – *Dujela* (UD), *Abo Ghurayb* (SA), *Buhuth 22* (TB), *Faris* (NF), *Latifiya* (CL) и *Baraka* (AB), – которые сохранили высокие показатели качества зерна в обоих условиях, что свидетельствует об их выраженной толерантности к засолению и водному дефициту.

Особую селекционную ценность представляют генотипы *Abo Ghurayb (SA)* и *Dujela (UD)*, обладающие максимальным биохимическим потенциалом: они характеризуются наибольшим содержанием белка (до 13,57 %), клейковины (до 27,32 %) и крахмала (до 59,49 %). В то же время генотипы *Sham (FS)* и *Buhuth (PB)* проявили высокую чувствительность к стрессовым факторам, демонстрируя минимальное накопление ассимилянтов.

Таблица 5 – Оценка качества зерна под воздействием стрессов засоления и засухи

Генотип	Стрессовый фактор	Белок, %	Влажность, %	Клейковина, %	Крахмал, %
Baraka (AB)	Засоление/Засуха	13,34/11,46	6,89/5,28	26,1/25,03	51,36/49,9
Wafia (BW)		13,24/11,37	8,45/7,72	23,68/24,03	47,04/46,64
Latifiya (CL)		13,36/11,53	6,59/5,21	26,33/25,24	52,92/51,41
Binakal (DB)		12,77/11,09	10,52/9,06	22,8/22,32	44,73/43,86
Uruk (EU)		13,07/11,28	8,94/8,57	23,42/23,0	46,13/45,12
Sham (FS)		12,15/10,68	11,73/11,49	20,65/19,55	42,16/39,01
Fateh (GF)		13,33/10,83	7,84/10,37	25,97/20,65	48,49/42,79
Buhuth10 (HB)		13,26/11,04	8,04/9,61	24,61/21,34	47,99/43,47
Buhuth158 (IB)		13,33/10,81	7,96/10,46	25,1/20,52	48,16/42,2
Babul 113 (JB)		12,66/10,95	10,7/9,67	22,5/21,04	44,03/43,3
Al Iraq (KA)		12,65/11,11	10,9/8,91	21,56/22,59	43,42/44,49
Bwru (LB)		13,02/11,45	9,78/7,46	23,28/24,57	45,13/47,12
Baghdad (MB)		12,72/11,06	10,61/9,54	22,79/21,95	44,55/43,6
Faris (NF)		13,53/11,56	6,45/4,92	26,78/25,38	55,58/53,83
Tammuz (OT)		12,52/10,76	11,3/10,66	21,64/20,1	43,3/42,11
Buhuth (PB)		12,24/10,7	11,48/10,78	20,23/18,66	43,08/40,98
Abaa 95 (QA)		13,22/11,36	8,81/7,74	23,54/23,66	46,43/46,51
Abaa 99 (RA)		13,05/11,26	9,15/8,69	23,29/22,85	45,76/44,83
Abo Ghurayb (SA)		13,57/11,57	7,08/4,89	27,12/26,8	59,49/53,99
Buhuth 22 (TB)		13,53/11,71	6,53/4,65	26,39/26,47	55,42/54,32
Dujela (UD)		13,56/11,73	6,14/4,35	27,32/25,93	55,92/57,77
Nemchinovka (VN)		13,25/11,3	7,84/8,21	24,4/23,44	47,86/45,71
Abo Raghif (WA)		13,01/11,39	8,81/7,59	22,96/24,46	44,86/46,8
Среднее		13,06/11,22	8,81/8,08	24,02/23,02	47,99/46,51
НСР ₀₅		0,32/0,26	1,19/1,26	1,19/1,26	3,72/4,0

Установлено, что у ряда генотипов в условиях засухи происходит повышение содержания клейковины и крахмала по сравнению с засолением, предположительно обусловленное эффектом концентрирования сухого вещества при снижении влажности зерна. В среднем по выборке засуха оказывает более выраженное ингибирующее влияние на биохимический профиль зерна: снижение содержания белка с 13,06 до 11,22 % является статистически достоверным (превышает НСР₀₅).

3.1.3 Чувствительность генотипов к стрессам засоления и засухи на основе признака урожайности

Анализ индексов чувствительности (SSI), толерантности (STI) и стабильности урожайности (YSI) (табл. 6) выявил значимое влияние абиотических стрессоров на продуктивность изучаемых образцов. Установлено, что комплексной устойчивостью к засолению и засухе характеризуются генотипы *Abo Ghurayb (SA)*, *Dujela (UD)* и *Faris (NF)*, сочетающие минимальные значения SSI с максимальными показателями STI и YSI.

Наибольшую чувствительность к стрессовым факторам продемонстрировали образцы *Buhuth (PB)* и *Sham (FS)*. В то же время, генотипы *Dujela (UD)* и *Buhuth 22 (TB)* проявили наивысшую специфическую адаптацию исключительно к условиям водного дефицита, достигнув рекордных значений индекса толерантности (STI) при засухе.

Таблица 6 – Показатели толерантности и чувствительности генотипов на основе урожайности зерна, т/га

Генотип	SSI		STI		YSI	
	Засоление	Засуха	Засоление	Засуха	Засоление	Засуха
Baraka (AB)	0,47	0,62	0,96	1,03	0,84	0,79
Wafia (BW)	0,83	0,65	0,84	0,82	0,73	0,77
Latifiya (CL)	0,49	0,58	1,03	1,15	0,84	0,8
Binakal (DB)	0,9	0,75	0,53	0,61	0,69	0,74
Uruk (EU)	0,79	0,53	0,75	0,72	0,73	0,81
Sham (FS)	1,17	1,09	0,36	0,31	0,62	0,62
Fateh (GF)	0,58	0,83	1,0	0,44	0,8	0,7
Buhuth10 (HB)	0,63	0,85	0,82	0,5	0,78	0,7
Buhuth158 (IB)	0,78	1,0	0,92	0,46	0,75	0,66
Babul 113 (JB)	0,82	0,87	0,46	0,5	0,71	0,7
Al Iraq (KA)	0,98	0,57	0,47	0,62	0,68	0,78
Bwru (LB)	0,78	0,56	0,63	1,0	0,73	0,8
Baghdad (MB)	0,91	0,82	0,53	0,51	0,69	0,71
Faris (NF)	0,32	0,47	1,54	1,21	0,89	0,84
Tammuz (OT)	0,89	0,89	0,4	0,37	0,7	0,69
Buhuth (PB)	1,04	1,17	0,36	0,3	0,65	0,6
Abaa 95 (QA)	0,57	0,65	0,74	0,79	0,8	0,77
Abaa 99 (RA)	0,66	0,74	0,66	0,73	0,75	0,74
Abo Ghurayb(SA)	0,28	0,34	1,63	1,59	0,9	0,88
Buhuth 22 (TB)	0,45	0,36	1,13	1,61	0,85	0,88
Dujela (UD)	0,35	0,3	1,56	1,69	0,89	0,89
Nemchinovka(VN)	0,61	0,79	0,79	0,82	0,79	0,73
Abo Raghif(WA)	0,84	0,79	0,53	0,93	0,71	0,74
Среднее	0,7	0,71	0,81	0,81	0,76	0,75
HCP ₀₅	0,07	0,06	0,03	0,04	0,02	0,02

3.2 Результаты физиологических показателей генотипов, подверженных воздействию абиотических стрессов

Анализ физиологических показателей (табл. 7) позволил раскрыть механизмы, лежащие в основе различий генотипов по толерантности к засолению и засухе. Установлено, что генотипы *Abo Ghurayb (SA)*, *Dujela (UD)*, *Faris (NF)* и *Buhuth 22 (TB)*, ранее идентифицированные как толерантные по комплексу индексов урожайности и биохимических показателей, характеризуются совокупностью физиологических преимуществ: повышенным содержанием хлорофилла (до 50,04 SPAD), высоким относительным содержанием воды в тканях (RWC до 86,03 %), минимальным накоплением перекиси водорода (до 1,60 у.е.) и максимальной активностью супероксиддисмутазы (до 1,07 у.е.). Указанные генотипы также демонстрируют выраженную способность к осмотической регуляции, о чем свидетельствует повышенное накопление пролина (до 0,64 мг/г).

Напротив, генотипы *Sham (FS)* и *Buhuth (PB)*, проявившие высокую чувствительность к стрессорам, характеризуются угнетением фотосинтетического аппарата (снижение

хлорофилла до 32,66 SPAD), выраженным водным дефицитом (RWC до 54,52 %) и интенсивным развитием окислительного стресса (максимальное накопление H₂O₂ – до 3,95 у.е.) на фоне слабой активности антиоксидантной системы (SOD 0,75–0,87 у.е.).

Таблица 7 – Физиологические показатели генотипов под влиянием абиотических стрессов

Генотип	Стрессовый фактор	Хлорофилл (SPAD)	Пролин, мг/г	RWC	H ₂ O ₂	SOD
Baraka (AB)	Засоление/засуха	46,6/40,57	0,47/0,51	73,48/72,08	1,88/2,74	0,92/0,98
Wafia (BW)		43,8/37,41	0,4/0,47	68,59/68,08	2,29/3,14	0,86/0,93
Latifiya (CL)		46,63/40,63	0,55/0,58	73,87/72,41	1,85/2,66	0,93/1,01
Binakal (DB)		40,27/36,67	0,34/0,41	64,09/62,74	2,54/3,32	0,84/0,9
Uruk (EU)		40,73/33,97	0,36/0,44	67,26/65,91	2,36/3,18	0,85/0,91
Sham (FS)		38,06/32,66	0,29/0,29	57,81/54,52	3,09/3,95	0,75/0,86
Fateh (GF)		41,1/36,1	0,42/0,44	72,87/62,69	2,23/3,58	0,88/0,89
Buhuth 10 (HB)		40,07/36,34	0,43/0,47	69,57/61,13	2,28/3,41	0,86/0,9
Buhuth 158 (IB)		40,33/35,17	0,4/0,44	71,59/60,66	2,26/3,63	0,87/0,88
Babul 113 (JB)		41,37/36,2	0,3/0,39	62,03/60,86	2,73/3,55	0,82/0,89
Al Iraq (KA)		41,23/37,13	0,34/0,37	61,2/60,52	2,77/3,29	0,81/0,91
Bwru (LB)		42,41/37,26	0,37/0,42	65,53/65,08	2,46/3,05	0,85/0,94
Baghdad (MB)		42,17/36,47	0,36/0,4	62,48/61,69	2,69/3,36	0,83/0,9
Faris (NF)		47,33/41,27	0,57/0,62	81,76/73,36	1,69/2,65	0,95/1,01
Tammuz (OT)		40,0/33,93	0,29/0,35	60,03/58,58	2,89/3,75	0,81/0,87
Buhuth (PB)		39,86/33,79	0,29/0,32	59,22/56,36	2,95/3,8	0,8/0,87
Abaa 95 (QA)		43,2/36,27	0,41/0,46	67,31/67,08	2,32/3,15	0,86/0,92
Abaa 99 (RA)		42,53/37,41	0,38/0,45	65,81/65,8	2,43/3,22	0,85/0,91
Abo Ghurayb (SA)		50,04/40,63	0,59/0,63	86,03/80,36	1,6/2,55	0,96/1,02
Buhuth 22 (TB)		46,7/41,76	0,56/0,63	78,81/76,69	1,75/2,51	0,94/1,05
Dujela (UD)		47,7/45,53	0,57/0,64	85,09/84,58	1,65/2,46	0,95/1,07
Nemchinovka (VN)		42,03/38,0	0,41/0,42	69,37/66,07	2,28/3,17	0,86/0,92
Abo Raghif (WA)		42,37/38,52	0,39/0,44	71,48/70,13	2,51/3,1	0,84/0,94
Среднее		42,89/37,55	0,41/0,46	69,36/66,41	2,33/3,18	0,86/0,93
HCP ₀₅		3,13/2,94	0,08/0,07	5,71/6,38	0,48/0,46	0,05/0,05

В среднем по выборке условия засухи оказывали более выраженное физиологическое воздействие по сравнению с засолением, что проявлялось в снижении содержания хлорофилла и RWC, а также в достоверном повышении концентрации H₂O₂ и пролина, что свидетельствует об усилении окислительного повреждения и активации осморегуляторных механизмов у растений.

3.3 Результаты биохимических показателей генотипов, подверженных воздействию абиотических стрессов

Анализ ионного состава растений (табл. 8) выявил выраженные сортовые различия по способности поддерживать ионный гомеостаз в условиях засоления и засухи. Генотипы, ранее идентифицированные как толерантные – *Abo Ghurayb (SA)*, *Dujela (UD)* и *Faris (NF)* – характеризовались минимальным накоплением Na⁺ (0,14–0,16 %), максимальным содержанием K⁺ (0,37–0,41 %) и наиболее низким отношением Na⁺/K⁺ (0,33–0,43), что свидетельствует об эффективной селективной способности корневых систем и высоком уровне осмотической регуляции. Указанные генотипы одновременно демонстрировали повышенное содержание азота (2,49–2,59 %), что отражает сохранение метаболической активности при стрессе.

Напротив, чувствительные генотипы *Sham (FS)* и *Buhuth (PB)* накапливали максимальные концентрации Na^+ (0,22 %) при минимальном содержании K^+ (0,18–0,20 %) и высоком отношении Na^+/K^+ (1,15–1,29), что указывает на ионный дисбаланс и токсический эффект засоления. Сниженное содержание азота у этих образцов (1,87–1,90 %) подтверждает угнетение физиолого-биохимических процессов.

Таблица 8. Оценка содержания Na^+ , K^+ и N в генотипах в условиях солевого стресса и засухи

Генотип	Натрий (Na^+), %	Калий (K^+), %	Отношение Na^+/K^+	Азот (N), %
Baraka (AB)	0,17	0,33	0,57	2,4
Wafia (BW)	0,18	0,27	0,81	2,28
Latifiya (CL)	0,16	0,33	0,51	2,58
Binakal (DB)	0,19	0,21	1,14	2,15
Uruk (EU)	0,19	0,26	0,82	2,2
Sham (FS)	0,22	0,18	1,29	1,87
Fateh (GF)	0,18	0,31	0,67	1,99
Buhuth 10 (HB)	0,18	0,29	0,86	2,06
Buhuth 158 (IB)	0,18	0,3	0,65	1,95
Babul 113 (JB)	0,19	0,21	1,24	2,04
Al Iraq (KA)	0,2	0,21	1,17	2,17
Bwru (LB)	0,19	0,24	0,92	2,37
Baghdad (MB)	0,19	0,21	1,09	2,07
Faris (NF)	0,16	0,37	0,43	2,49
Tammuz (OT)	0,21	0,2	1,14	1,91
Buhuth (PB)	0,22	0,2	1,15	1,9
Abaa 95 (QA)	0,19	0,26	0,85	2,25
Abaa 99 (RA)	0,19	0,24	0,99	2,17
Abo Ghurayb (SA)	0,14	0,41	0,33	2,55
Buhuth 22 (TB)	0,16	0,34	0,5	2,58
Dujela (UD)	0,16	0,37	0,43	2,59
Nemchinovka (VN)	0,18	0,28	0,81	2,23
Abo Raghif (WA)	0,19	0,21	0,94	2,35
Среднее	0,18	0,27	0,84	2,22
HCP ₀₅	0,04	0,07	0,28	0,08

3.4 Классификация генотипов по их устойчивости к абиотическим стрессам

На основе комплексной оценки морфологических, физиологических признаков, компонентов урожайности и индексов чувствительности 23 генотипа классифицированы на четыре кластера по уровню толерантности к абиотическим стрессорам (табл. 9).

Таблица 9 – Классификация генотипов на основе морфологических и физиологических показателей под влиянием абиотического стресса

Стресс засухи (90 %, 60 %, 30 % от полевой влагоемкости)					
Солевой стресс (5, 10, 15 г/л)	Уровень устойчивости	Высоко устойчивые (A)	Умеренно устойчивые (B)	Умеренно чувствительные (C)	Высоко чувствительные (D)
	Кластер				
	Высокоустойчивые (A)	UD, SA	NF	-	-
	Умеренноустойчивые (B)	TB	CL, AB	-	GF

Умеренночувствительные (C)	-	-	EU, RA, VN, BW, QA, LB	HB, IB
Высокочувствительные (D)	-	-	KA, DB, WA	FS, OT, PB, MB, JB

К засухе:

Кластер А (высокоустойчивые): *Dujela (UD)*, *Abo Ghurayb (SA)*, *Buhuth 22 (TB)*;

Кластер В (умеренно устойчивые): *Latifiya (CL)*, *Faris (NF)*, *Baraka (AB)*;

Кластер С (умеренно чувствительные): *Uruk (EU)*, *Abaa 99 (RA)*, *Al Iraq (KA)*, *Binakal (DB)*, *Nemchinovka (VN)*, *Wafia (BW)*, *Abaa 95 (QA)*, *Abo Raghif (WA)*, *Bwru (LB)* – наиболее многочисленная группа;

Кластер D (высокочувствительные): *Sham (FS)*, *Tammuz (OT)*, *Buhuth (PB)*, *Buhuth 10 (HB)*, *Baghdad (MB)*, *Babul 113 (JB)*, *Fateh (GF)*, *Buhuth 158 (IB)* – характеризовались выраженным снижением высоты растений, биомассы и урожайности зерна.

К засолению:

Кластер А (высокоустойчивые): *Abo Ghurayb (SA)*, *Dujela (UD)*, *Faris (NF)*;

Кластер В (умеренно устойчивые): *Baraka (AB)*, *Fateh (GF)*, *Latifiya (CL)*, *Buhuth 22 (TB)*;

Кластер С (умеренно чувствительные): *Uruk (EU)*, *Abaa 95 (QA)*, *Abaa 99 (RA)*, *Bwru (LB)*, *Wafia (BW)*, *Buhuth 10 (HB)*, *Buhuth 158 (IB)*, *Nemchinovka (VN)*;

Кластер D (высокочувствительные): *Binakal (DB)*, *Baghdad (MB)*, *Abo Raghif (WA)*, *Babul 113 (JB)*, *Al Iraq (KA)*, *Tammuz (OT)*, *Buhuth (PB)*, *Sham (FS)* – проявили значительное снижение продуктивности и признаков урожайности с нарастанием концентрации соли.

Генотипы *Abo Ghurayb (SA)* и *Dujela (UD)* стабильно входят в кластер высокоустойчивых к обоим стрессорам, что подтверждает их комплексную толерантность. Генотип *Sham (FS)* классифицируется как высокочувствительный, демонстрируя уязвимость к обоим факторам среды.

3.4 Результаты молекулярной диагностики

Оценка новых ПЦР-ISSR-маркеров

Двадцать новых ISSR-праймеров были использованы в ПЦР-анализе, который амплифицировал в общей сложности 821 фрагмент, в среднем 41,05 полос на праймер (удвоенное соотношение). Результаты электрофореза в геле показали отсутствие расщепления у праймеров ISSR-8 и ISSR-20, в то время как остальные 18 праймеров продемонстрировали способность дифференцировать генотипы в исследовании.

Генетическое «отпечатывание» (паспортизация) генотипов с использованием ПЦР-ISSR-маркеров

Генетическое сходство (GS) среди 23 генотипов было проанализировано на рисунке 1, которое выявило наименьшее сходство между WA и CL (0,21) и наибольшее между MB и RA (0,75), при среднем сходстве 0,48. Дендрограмма указывает на два основных кластера; первый включает генотип WA из Турции с генетическим расстоянием 0,79 от других кластеров. Второй кластер подразделяется: генотип BW из Франции показывает расстояние 0,63 от других подгрупп. Кроме того, генотипы RA и QA имеют общие генетические источники из CIMMYT, причём RA является родителем в гибридизации с HB. Кластер (10) состоит из JB и OT, связанных через радиационную мутацию от общего предка (MEXIPAK). Эти результаты способствовали идентификации генетического «отпечатка» каждого генотипа в исследовании.

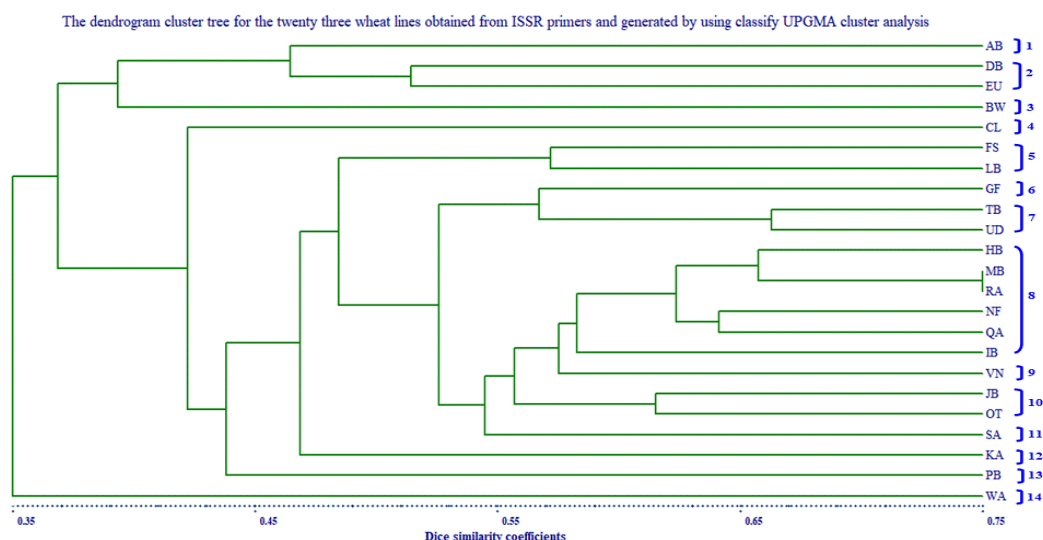


Рисунок 1 – Дендрограмма, построенная с использованием кластерного анализа UPGMA на основе коэффициента сходства Дайса, полученного с помощью ISSR-праймеров для двадцати трёх генотипов мягкой пшеницы

Диагностика засухоустойчивых генотипов с использованием ПЦР-SSR-маркеров

Анализ ПЦР-SSR-маркеров при электрофорезе в геле выявил радиоактивные полосы, указывающие на засухоустойчивые генотипы (CL, NF, SA, UD и TB) с праймером Malek 1 и засухоустойчивые генотипы (AB, CL, TB, UD, SA и NF) с праймером Malek 2, в то время как чувствительные к засухе генотипы PB, JB и LB отсутствовали для обоих праймеров, что согласуется с предыдущими морфологическими и физиологическими результатами. Следовательно, засухоустойчивые генотипы NF, UD, SA, TB, AB и CL были отобраны для последующих исследований секвенирования и генетического картирования (рис. 2).

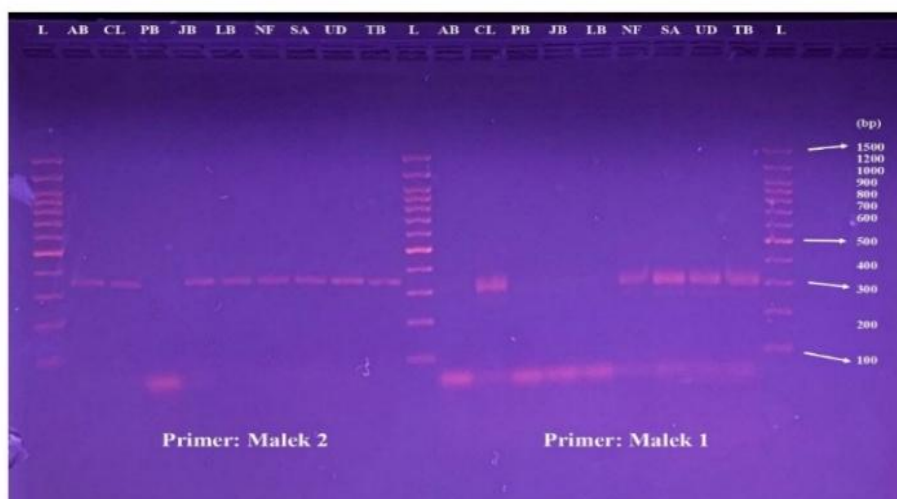


Рисунок 2 – Электрофореграмма (гель-электрофорез) праймеров (Malek 1, Malek 2)

Диагностика солеустойчивых генотипов с использованием ПЦР-SSR-маркеров

Результаты ПЦР-SSR, полученные при электрофорезе в геле, показали, что праймер *xgwm-493* идентифицировал солеустойчивые генотипы AB, NF, CL, SA, UD и TB, а праймер *xcfd-18* идентифицировал солеустойчивый генотип CL. Эти радиоактивные полосы указывают на взаимодействие праймеров с геномом ДНК исследуемых генотипов, хотя у чувствительного к засолению генотипа PB не проявилось ни одной полосы ни на одном из выбранных праймеров, что подтверждает достоверность физиологических и морфологических результатов в полевых условиях. Эти результаты открывают путь к переходу на этап генетического секвенирования и идентификации генов, ответственных за толерантность к засолению, как показано на рисунке 3.

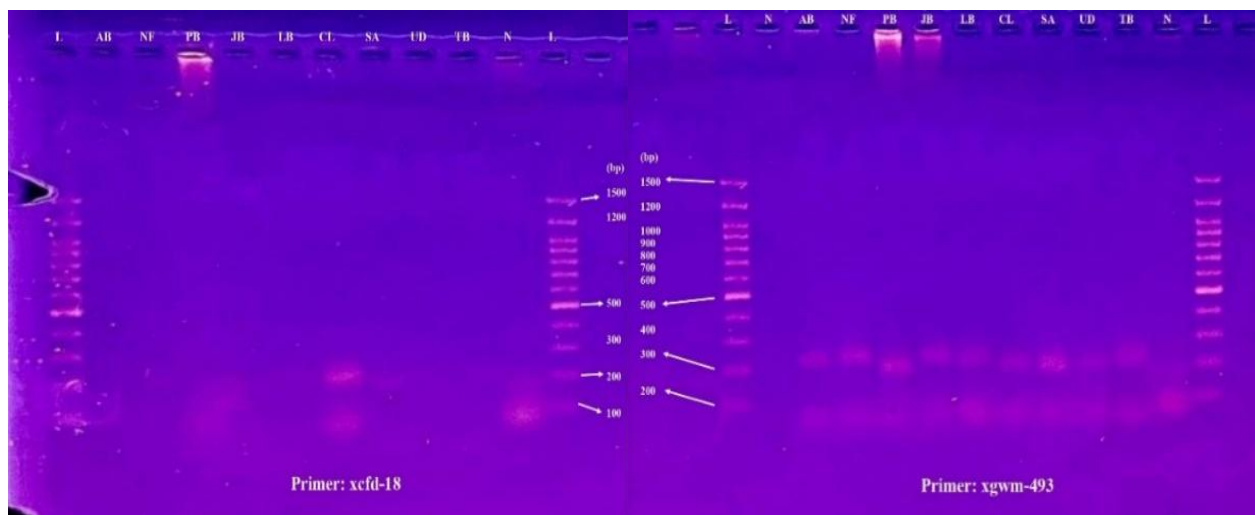


Рисунок 3 – Электрофореграмма(гель-электрофорез):(xcfd-18)и(xgwm-493)

Идентификация генетических локусов, устойчивых к абиотическому стрессу

Исследование было сосредоточено на трёх локусах в последовательностях *Triticum*: гене *DRF1*, гене *NAC20L* и микросателлитной последовательности. Анализ гена *DRF1* выявил до 99 % сходства последовательностей с *Triticum turgidum* (регистрационный номер *GenBank* KM504244.1) в образцах E1, E2, R1, R2 и R3, в то время как 100 % сходство было обнаружено для последовательностей гена *NAC20L* у *Triticum aestivum* (регистрационный номер *GenBank* XM_044571539.1) в образцах S1, S2, S3, S4 и S5. Кроме того, было подтверждено полное сходство последовательностей для секвенированных образцов Q1, Q2, Q3 и Q4 с микросателлитными последовательностями *Triticum turgidum* (регистрационный номер *GenBank* AF275898.1). Детали полученных ПЦР-фрагментов и их точное положение были установлены для целевых бактериальных последовательностей с использованием *NCBI*. Все генетические последовательности, перечисленные в таблице 10, были приняты для депонирования на веб-сервере *NCBI*, что обеспечило уникальные регистрационные номера для каждой проанализированной последовательности.

Таблица 10 – Генетические последовательности локусов, устойчивых к абиотическому стрессу

№ Посл.	Асс. №	Асс. № GenBank	Локус	Праймеры (стресс)	Штамм	Обр.	Код генотипа	Название сорта
Посл. 1	PP873665	BankIt2835921	DRF1 (<i>Triticum turgidum</i>)	Malek 1 (засуха)	Malek-E1	E1	AB	Baraka
Посл. 2	PP873666				Malek-E2	E2	CL	Latifiya
Посл. 3	PP873667				Malek-R1	R1	NF	Faris
Посл. 4	PP873668				Malek-R2	R2	SA	Abo Ghurayb
Посл. 5	PP873669				Malek-R3	R3	TB	Buhuth 22
Посл. 6	PP873670		NAC20L (<i>Triticum aestivum</i>)	Malek 2 (засуха)	Malek-S1	S1	CL	Latifiya
Посл. 7	PP873671				Malek-S2	S2	NF	Faris
Посл. 8	PP873672				Malek-S3	S3	SA	Abo Ghurayb
Посл. 9	PP873673				Malek-S4	S4	TB	Buhuth 22
Посл. 10	PP873674				Malek-S5	S5	UD	Dujela
Посл. 11	PP873642	BankIt2835923	Микросателлит (<i>Triticum turgidum</i>)	xgwm-493 (засоление)	Malek-Q1	Q1	NF	Faris
Посл. 12	PP873643				Malek-Q2	Q2	UD	Dujela
Посл. 13	PP873644				Malek-Q3	Q3	SA	Abo Ghurayb
Посл. 14	PP873645				Malek-Q4	Q4	TB	Buhuth 22
Примечание: Последовательность = Посл., Акцессионный номер = Асс. №, Генетический локус = Локус, Образцы = Обр.								

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. По результатам трёхлетних полевых исследований (2022–2024 гг.), размещённых на типовых агрофонах Южного Ирака, выполнена комплексная оценка продукционного потенциала 23 генотипов озимой пшеницы в условиях сопряжённого воздействия почвенной засухи и засоления. На основе расчёта индексов стрессоустойчивости (SSI, STI) и кластерного анализа проведена агротехническая дифференциация изучаемого материала, позволившая ранжировать сорта по степени адаптивности к лимитирующим факторам среды. Выявлена группа линий (Dujela, Abo Ghurayb, Buhuth 22, Faris, Baraka, Latifiya), сохраняющая устойчивое формирование вегетативной массы и структурных элементов урожая при критических значениях водно-солевого режима. Полученные результаты создают методическую основу для оптимизации регионального сортимента, корректировки параметров технологии возделывания и интеграции стресс-толерантных генотипов в адаптивные системы земледелия аридных зон, что обеспечивает стабилизацию валовых сборов зерна при сохранении ресурсной эффективности производства.

2. Выявленные физиолого-агробιοхимические закономерности подтверждают, что стабилизация продукционного процесса озимой пшеницы в условиях абиотического стресса детерминирована способностью генотипов поддерживать функциональную устойчивость фотосинтетического аппарата и водного обмена. У отобранных адаптивных сортов относительное содержание воды в листовых тканях сохранялось в диапазоне 50,0–55,2 % даже при достижении критических значений почвенной засухи и засоления, что предотвращало ухудшение транспирационной активности. Одновременная стабилизация пула хлорофиллов (40,5–47,7 ед. SPAD) создавала метаболический базис для осморегуляции посредством направленной аккумуляции пролина и синхронной активации ферментативной антиоксидантной защиты (СОД, ПОД, КАТ), минимизирующей окислительную деградацию клеточных структур. Ключевым элементом адаптивного ответа выступало регулирование

ионного гомеостаза: устойчивые генотипы ограничивали транслокацию натрия в побеги, удерживая соотношение Na^+/K^+ на уровне 0,33–0,57 и сохраняя интенсивность азотного обмена на фоне стрессового воздействия. Совокупность указанных физиологических индикаторов позволяет обоснованно дифференцировать сортовой состав под конкретные почвенно-климатические границы, корректировать режимы влаго- и минерального питания, а также формировать технологические карты возделывания озимой пшеницы в аридных зонах с риском комбинированного засоленно-аридного стресса, что в перспективе обеспечивает стабилизацию урожайности и повышение ресурсной эффективности растениеводства.

3. Разработан и апробирован подход к ускоренной агроэкологической паспортизации сортового материала озимой пшеницы, базирующийся на совместном использовании ISSR- и SSR-маркеров. Применение панели из 18 ISSR-праймеров обеспечило объективную оценку генетического разнообразия и проверку происхождения исходных форм. Диагностические маркеры Malek 1, Malek 2 и xgwm-493 показали высокую информативность при экспресс-скрининге генотипов на устойчивость к комплексу лимитирующих факторов среды. Впервые идентифицированные и депонированные в репозитории NCBI GenBank 14 нуклеотидных последовательностей, ассоциированных с функциональными локусами DRF1 и NAC20L, а также с группами микросателлитных повторов, расширили инструментальную базу для молекулярного мониторинга посевного фонда. Внедрение элементов маркер-опосредованной диагностики в регламент регионального сортоиспытания позволяет дифференцированно подбирать сорта под почвенно-климатические условия, корректировать элементы технологии возделывания (нормы высева, сроки сева, режим минерального питания) и сокращать период производственной апробации, что обеспечивает повышение предсказуемости валовых сборов зерна и оптимизацию ресурсного обеспечения растениеводства в аридных зонах.

4. Экспериментально установлено, что сохранение технологических свойств зерна в условиях абиотического стресса реализуется преимущественно при использовании генотипов, интегрированных в адаптивные системы земледелия. При повышении электропроводности почвенного раствора до 15 дСм/м наблюдалась активация компенсаторных механизмов азотного обмена, выразившаяся в приросте массовой доли сырого протеина на 14,6 % и сырой клейковины на 26,6 % по отношению к фоновому варианту. У стресс-лабильных форм данный метаболический сдвиг сопровождался критическим снижением массы 1000 зёрен и валового сбора, что нивелировало агротехническую целесообразность выращивания таких сортов в лимитирующих условиях. Комплексное сопоставление данных полевого эксперимента, физиологической диагностики и молекулярного профилирования позволило обосновать технологический подход: в структуру региональных севооборотов и программу производственного сортоиспытания следует включать генотипы, у которых наличие устойчивых ДНК-маркеров достоверно согласуется со стабильностью структурных параметров урожая. Подобная дифференциация сортимента обеспечивает прогнозируемое качество продукции, оптимизацию норм высева и режимов минерального питания, а также повышает ресурсную эффективность возделывания озимой пшеницы в аридных и засоленных агроландшафтах.

5. На основе полученных данных сформулированы практические ориентиры для совершенствования региональных систем земледелия Южного Ирака. Сорта Dujela, Faris и Buhuth 22 отобраны в качестве приоритетных компонентов адаптивного сортимента озимой пшеницы, обеспечивающих стабильное раскрытие продукционного потенциала при сопряжённом воздействии почвенной засухи и засоления. Предложенная схема оценки сортового материала, сочетающая расчёт параметров экологической пластичности, экспресс-диагностику физиологического статуса посевов и молекулярно-генетический скрининг, позволяет дифференцированно подбирать генотипы под конкретные почвенно-климатические условия. Интеграция данного подхода в практику производственного сортоиспытания повышает надёжность прогнозирования урожайности и формирует научно-методическую

основу для дифференцированного нормирования элементов технологии возделывания (оптимальные сроки сева, рабочая густота стояния, режим влагообеспеченности). Реализация указанных решений способствует стабилизации валовых сборов зерна и повышает ресурсную устойчивость растениеводства в аридных зонах с риском засоления почв.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Публикации в журналах, индексируемых в международных аналитических базах данных Scopus и Web of Science

1. **Malek Hubaish Walli**, Genetic and environment diversity to improve wheat (*Triticum spp.*) productivity: A review / **M.H. Walli**, Z. Al-Jubouri, [et al.] // Research on Crops. – 2022. – Vol. 23, No. 2. – P. 295–306. – DOI: [10.31830/2348-7542.2022.041](https://doi.org/10.31830/2348-7542.2022.041). (Scopus)
2. **Malek Hubaish Walli**, Impact of Global Climate Change on Soil Properties and Water Resources / **Malek Hubaish Walli**, Meisam Zargar, [et al.] // Earth and Environmental Science, E-ISSN (1755-1315). – 2025. – Vol. 1487, No. 1. – P. 012203. – DOI: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1487/1/012203>. (Scopus)
3. **Malek Hubaish Walli**, Influence of growth regulators on the formation of main indicators of photosynthetic activity in amaranth (*Amaranthus tricolour*) genotypes / Kristina Shevchenko, **Malek Hubaish Walli**, [et al.] // Research on Crops. – 2022. – Vol. 23, No. 1. – P. 187–192. – DOI: <http://dx.doi.org/10.31830/2348-7542.2022.025>. (Scopus)

Публикации в рецензируемых научных журналах

4. **Malek Hubaish Walli**, Evaluation of 23 Wheat Genotypes (*Triticum aestivum L.*) for Water Stress Based on Physiological Indices and Grain Yield / **Walli M.H.**, Duksi F. // Научный журнал КубГАУ. – 2026. – Vol. 3, № 217. – P. 1–14. – DOI:10.21515/1990-4665-217-001.
5. **Malek Hubaish Walli**, Identification of drought-tolerant bread wheat *Triticum aestivum L.* genetic resources using molecular markers / **Malek H. Walli**, [et al.] // RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries. – 2026. – Vol. 3, № (1). – P. 41–54. <https://doi.org/10.22363/2312-797X-2026-21-1-41-54>.

Публикации в других научных журналах

6. **Malek Hubaish Walli**, Selection of Salinity-Tolerant Wheat (*Triticum aestivum L.*) Lines to Improve Production Yields Under Climate Change / **Malek H. Walli**, Fatima Duksi, [et al.] // International Journal of Environmental Sciences. – 2025. – Vol. 11, No. 25s. – P. 2112–2126. – DOI: <https://doi.org/10.64252/eyy1bx54>.
7. **Malek Hubaish Walli**, Assessment of Genetic and Phenotypic Parameters, as well as Correlations and Analysis of the Dynamics of Productivity Показатели of Wheat Genotypes (*Triticum aestivum L.*) In Conditions of Salt Stress / **M.H. Walli**, M. Zargar, A.N. Alkhasnavi, [et al.] // Problems of development of the regional agro-industrial complex Scientific and practical journal, "Dagestan State Agrarian University". – 2025. – Vol. 62, No. 2. – P. 36–44. – DOI: <https://doi.org/10.52671/20790996> , <https://apk05.ru/arkhiv>. (K2)
8. **Malek Hubaish Walli**, Fungal diseases of wheat in Russia: spread, symptoms, control methods and economic damage - a review / F. Duksi, **M.H. Walli**, M. Zargar // News of the Kabardino-Balkarian Scientific Centre of the Russian Academy of Sciences. – 2025. – Vol. 27, No. 3. – P. 121–132. – DOI: <https://doi.org/10.35330/1991-6639-2025-27-3-121-132>. (K2)

9. **Malek Hubaish Walli**, Biochemical Mechanisms Regulating Salt Tolerance in Plants: A review / Arshad Naji Alhasnawi, **Malek Hubaish Walli**, Febri Doni // Journal of University of Babylon for Pure and Applied Sciences (JUBPAS). – 2025. – Vol. 33, No. 2. – P. 122–140. – DOI: <https://doi.org/10.29196/jubpas.v33i.5936>.

Тезисы и материалы конференций

10. Climate Change Impacts Food Safety and Reduction of Cereal Crops in Agricultural Land / **Malek Hubaish Walli**, Meisam Zargar // IV International Conference "Food Safety and Quality" September 30 – October 2, 2024, Patrice Lumumba Peoples' Friendship University of Russia, Moscow. www.fqfs.org.

11. Endophytic Bacteria of Wheat Seeds: PCR and Sequencing / Duksi F., **Walli M.**, [et al.] // XVII International Scientific and Practical Conference of Young Scientists "Innovative Processes in the Agro-Industrial Complex" Organizer: Agrarian and Technological Institute, Moscow: RUDN University, April 23-24, 2025. – P. 441–444, ISBN 978-5-209-12699-7.

12. Study of Endophytic Fungi of Spring Wheat Seeds Using Microscopy Methods / Duksi Fatima, **Malek Hubaish Walli** // Practical conference of young scientists with international participation "FUNDAMENTAL AND APPLIED RESEARCH IN BOTANY, ECOLOGY, AND PLANT GROWING" Russian Federation, Republic of Crimea, May 26-30, 2025. <https://nikitasad.ru/science/konferentsiya-po-botanike-ekologii-rastenievodstvu/>.

АННОТАЦИЯ

АБИОТИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ И УСТОЙЧИВОСТЬ РАЗНЫХ СОРТОВ ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ В УСЛОВИЯХ ЮЖНОГО ИРАКА

АЛЬБО ХУСЕЙН МАЛИК ХИБАЙШ ВАЛЛИ

В настоящее время глобальное изменение климата приводит к усилению абиотических стрессов, созданию угроз для продовольственной безопасности и экономическим потерям. Целью данного исследования было оценить толерантность различных сортов озимой пшеницы (*Triticum aestivum* L) к абиотическим стрессам с использованием морфологических, физиологических, биохимических и молекулярных показателей. Полевые эксперименты проводились на юге Ирака в течение трёх лет (2022–2024 гг.). Исследование выявило, что сорта Dujela и Abo Ghurayb проявили высокую толерантность как к засолению, так и к засухе, в то время как Faris был высоко толерантен к засолению и умеренно толерантен к засухе. Сорт Buhuth22 показал умеренную толерантность к засолению и высокую толерантность к засухе. Сорта Baraka и Latifiya продемонстрировали умеренную толерантность к стрессам, вызванным засолением и засухой. Было идентифицировано 14 последовательностей генов для сортов, проявивших толерантность, ассоциированных с локусами генов, обеспечивающими устойчивость к засолению и засухе. Все исследованные генетические последовательности были депонированы на веб-сервере NCBI с присвоением уникальных индексов доступа (номеров регистрации).

Ключевые слова: абиотический стресс, озимая пшеница, засоление, засуха, молекулярные маркеры, последовательности генов.

ABSTRACT

ABIOTIC FACTORS AND RESISTANCE OF DIFFERENT WINTER WHEAT VARIETIES IN THE CONDITIONS OF SOUTHERN IRAQ

ALBO HUSSAIN MALIK HIBAISH WALLI

Currently, global climate change leads to increased abiotic stresses, threats to food security, and economic losses. The aim of this study was to evaluate the tolerance of different winter wheat varieties (*Triticum aestivum* L.) to abiotic stresses using morphological, physiological, biochemical, and molecular indicators. Field experiments were conducted in southern Iraq over three years (2022–2024). The study revealed that the varieties Dujela and Abo Ghurayb exhibited high tolerance to both salinity and drought, while Faris was highly tolerant to salinity and moderately tolerant to drought. The variety Buhuth 22 showed moderate tolerance to salinity and high tolerance to drought. The varieties Baraka and Latifiya demonstrated moderate tolerance to stresses caused by salinity and drought. Fourteen gene sequences were identified for varieties that showed tolerance, associated with gene loci conferring resistance to salinity and drought. All investigated genetic sequences were deposited on the NCBI web server with unique accession numbers assigned.

Keywords: Abiotic stress, Winter wheat, Salinity, Drought, Molecular markers, Gene sequences.