

УДК 633.18:631.67:004

DOI <https://doi.org/10.32851/2226-0099.2021.119.30>

МОДЕЛЮВАННЯ РЕЖИМІВ ЗРОШЕННЯ РІЗНИХ СОРТІВ РИСУ З ВИКОРИСТАННЯМ ІНФОРМАЦІЙНО-ПРОГРАМНОГО КОМПЛЕКСУ AQUACROP

Марковська О.Є. – д.с.-г.н., професор, в. о. завідувача кафедри ботаніки та захисту рослин,
Херсонський державний аграрно-економічний університет

У статті наведено результати застосування сучасних інформаційних технологій, які дають можливість агровиробникам із високою точністю контролювати динаміку водопотреби на рівні зрошувальної системи, господарства та окремих полів рисових сівозмін в умовах краплинного зрошення. Використання комп'ютерних програм дозволяє оптимізувати режими зрошення, заощадити воду, енергоносії, технічні засоби, трудові ресурси, сприяє підвищенню врожаю та покращанню його якості, зростанню економічної ефективності та екологічної безпеки землеробства на поливних землях.

У межах виконання НДР «Розробка та вдосконалення режимів зрошення рису та супутніх культур рисової сівозміни на засадах нормування поливної води та встановлення динаміки евапотранспірації на рівні поля» розроблено імітаційну модель продуктивності рису з використанням програмного комплексу – AquaCrop за умов краплинного зрошення. Як експериментальні дані використано результати науково-дослідної роботи з удосконалення технологічних процесів вирощування насіння сучасних сортів рису з метою підвищення посівних та врожайних властивостей, що проводилась у 2017 році в Інституті рису НААН. Вхідними показниками температурних даних, швидкості вітру, опадів використано дані місцевої метеостанції за 2017 рік та дані інтернет-ресурсу щодо тривалості сонячного дня, координат місцевості тощо. Програмний комплекс AquaCrop дозволяє змоделювати витрати води і поживних речовин на формування програмованих рівнів урожаю, встановлення реакції на оптимальне та ресурсоощадне зрошення різних за біологічними параметрами сільськогосподарських культур, зокрема рису.

Методом імітаційного моделювання встановлено складники продукційного процесу різних сортів рису. Продемонстровано зручність, точність та надійність розробленої моделі для управління, моделювання та прийняття рішень із точки зору формування врожайності сортів Віконт, Преміум, Україна-96, розробки іригаційних моделей із метою ведення ефективного агровиробництва. Адаптування наданої AquaCrop інформації щодо досліджуваних сортів рису дозволило автоматично та з достатньою точністю згенерувати біологічно оптимальні режими зрошення сортів рису Віконт, Преміум та Україна-96, порівняти їх урожайність та водну продуктивність. Найвищу врожайність та водну продуктивність у досліді сформував сорт Віконт – 9,5 т/га; 1,29 кг/м³ відповідно.

Ключові слова: програмний комплекс AquaCrop, технології, рис, зрошення, урожайність, ефективність.

Markovska O.Ie. Modeling of irrigation regimes of different varieties of rice with the use of information and software complex AquaCrop

The article presents the results of the application of modern information technologies, which allow agricultural producers to control with high accuracy the dynamics of water consumption at the level of irrigation system, economy and individual fields of rice crop rotations under the conditions of drip irrigation. The use of computer programs allows optimizing irrigation regimes, save water, energy, technical means, labour resources, helps to increase yields and improve their quality, increase economic efficiency and environmental safety of agriculture on irrigated fields.

As part of the research project 'Development and improvement of irrigation regimes of rice and related crops of rice crop rotation on the basis of irrigation water rationing and establishing the dynamics of evapotranspiration at the field level' there was developed a simulation model of rice productivity under drip irrigation using software AquaCrop. As experimental data, we used the results of research work on improving the technological processes of growing seeds

of modern varieties of rice in order to improve sowing and yield properties, which were conducted in 2017 at the Rice Institute of NAAS. The input indicators of temperature data, wind speed, precipitation were data from the local weather station for 2017 and data from the Internet resource on the length of the sunny day, coordinates of the area, etc. The AquaCrop software complex allows modelling the consumption of water and nutrients for the formation of programmed yield levels, establishing a response to optimal and resource-saving irrigation of various biological parameters of crops, including rice.

The components of the production process of different varieties of rice are established by simulation modelling. Convenience, accuracy and reliability of the developed model for management, modelling and decision-making from the point of view of formation of productivity of varieties Vikont, Premium, Ukraina-96, development of irrigation models for conducting effective agricultural production are shown. Adaptation of the provided AquaCrop information on the studied rice varieties allowed us to automatically and with sufficient accuracy generate biologically optimal modes of irrigation of rice varieties Vikont, Premium and Ukraina-96, to compare their yield and water productivity. As a result of the study, the Vikont variety formed the highest yield of 9.5 t/ha and water productivity of 1.29 kg/m³.

Key words: AquaCrop software complex, technologies, rice, irrigation, yield, efficiency.

Постановка проблеми. Дефіцит водних ресурсів є глобальною проблемою в отриманні сталих урожаїв сільськогосподарських культур у Південному Степу України, який належить до зони нестійкого й недостатнього природного зволоження. За даними науковців, світова площа з дефіцитом природного вологозабезпечення становить понад 20% від загальної площі з одночасним скороченням прісної води [1, с. 15]. В останні роки спостерігається зростання кількості опадів на 33%. Однак відбувається воно на тлі підвищення суми ефективних температур вище 5°C на 673°C і характеризується нерівномірним розподілом за періодами вегетації, а в посушливі літні місяці має вигляд злив [2, с. 6–9]. Через це важливим складником технологій вирощування сільськогосподарських культур є застосування зрошення з урахування біологічних особливостей рослин, зональних і локальних ґрунтово-кліматичних умов. Отримання високих і якісних урожаїв за знижених поливних і зрошувальних норм є головною метою інноваційних іригаційних технологій як в Україні, так і за її межами [3, с. 417–423; 4, с. 8–11]. Визначати дійсну потребу в поливній воді й організувати раціональне її використання можна лише за проведення впродовж поливного сезону оперативного короткотермінового розрахунку норм і строків вегетаційних поливів, відповідно до яких і необхідно здійснювати зрошення.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Нині є багато імітаційних моделей продуктивності сільськогосподарських культур для оцінки ефективності застосування зрошення. Практичне значення при цьому мають імітаційні моделі росту й розвитку рослин, які можна створити в програмних комплексах DSSAT та CROPWAT, проте вони не дозволяють контролювати параметри родючості ґрунту, його еколого-меліоративний стан та оптимізувати сівозміну на основі комплексного аналізу вихідних даних. Вирішенням цих проблем стала розробка вченими Відділу земельних і водних ресурсів FAO ООН спеціального програмного комплексу – AquaCrop, який дозволяє змоделювати витрати води і поживних речовин на формування програмованих рівнів урожаю, встановлення реакції на оптимальне та водоощадне зрошення різних за біологічними параметрами сільськогосподарських культур [5, с. 172–191; 6, с. 6–8]. Ця модель була успішно протестована для багатьох культур у різних країнах світу (як-от ячмінь у Південній зоні Сахари в Африці, пшениця в Ірані та у західних провінціях Канади, кормові культури в Ефіопії, кукурудза на зерно в Каліфорнії (США) та ін.). Багато досліджень проведено в аридних регіонах за допомогою моделі AquaCrop для оптиміза-

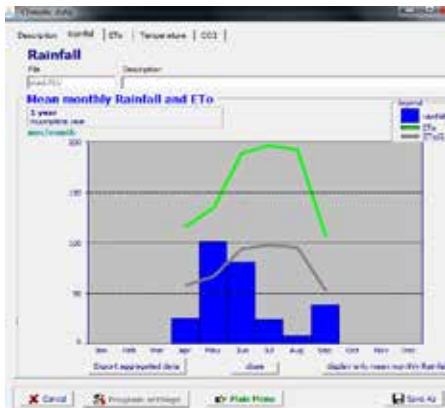
ції врожайності зерна та надземної маси з використанням водоощадного або біологічно оптимального режимів зрошення. Так, Фарахані та Гарсія-Віла у 2009 р. використовували програму AquaCrop для зрошення бавовни в Сирії та Іспанії, Салемі та ін., у 2011 – для пшениці озимої за водоощадного режиму зрошенні – в посушливих районах Ірану, Іраку та ін., у 2010 р. – для ячменю в різних регіонах Ефіопії [7, с. 264–272; 8, с. 70–85; 9, с. 477–487]. В Україні застосування імітаційних моделей продуктивності сільськогосподарських культур, на жаль, поки що залишається обмеженим.

Постановка завдання. У межах виконання НДР «Розробка та вдосконалення режимів зрошення рису та супутніх культур рисової сівозміни на засадах нормування поливної води та встановлення динаміки евапотранспірації на рівні поля» розроблено імітаційну модель продуктивності рису з використанням сучасних інформаційних технологій. За допомогою програмно-інформаційного комплексу AquaCrop версії 6.0 здійснено адаптацію (калібрування) характеристик кожного з досліджуваних сортів рису і побудовано режими зрошення за вегетаційний період 2017 року згідно із запропонованими системою методами, а також порівняно отримані моделі за продуктивністю, врожайністю насіння, кількістю використаної зрошувальної води для кожного з досліджуваних сортів. Як експериментальні дані використано результати НДР з удосконалення технологічних процесів вирощування насіння сучасних сортів рису з метою підвищення посівних та врожайних властивостей, що проводилась у 2017 році в Інституті рису НААН. Вхідними показниками температурних даних, швидкості вітру, опадів використано дані місцевої метеостанції за 2017 рік у розрізі декад та дані інтернет-ресурсу щодо тривалості сонячного дня, координат місцевості тощо. Еталонна евапотранспірація розрахована за допомогою методу Пенмана-Монтейта, реалізованого в програмно-інформаційному комплексі CropWat. Середньорічну концентрацію CO_2 отримано з бази даних AquaCrop.

Виклад основного матеріалу дослідження. У результаті завантаження даних отримані графічні зображення діаграм кількості опадів (рис. 1 (а), еталонної евапотранспірації (рис. 1 (б), температур (рис. 1 (в) та CO_2 (рис. 1 (г), що надає можливість користувачеві наочно аналізувати інформацію стосовно кліматичних умов місяця проведення дослідження.

Також уведено інформацію щодо норм висіву, маси 1 000 зерен, рівня проростання, відстані між рядами, відстані між рослинами, кількості днів вегетаційного періоду за фазами для кожного з досліджуваних сортів рису. Після введення цих характеристик програма автоматично розрахувала густоту стояння рослин і початковий розмір «покриву» культури (CC).

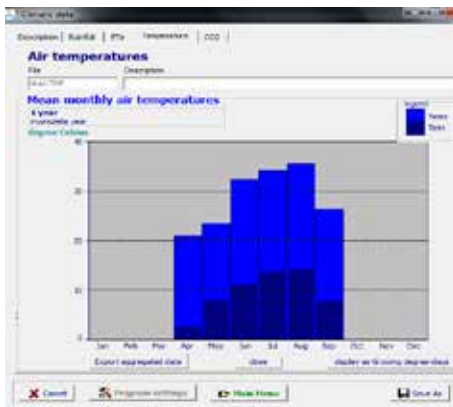
Для сорту Віконт уведено масу 1 000 зерен 31 г, схожість – 81%, ширину міжряддя – 0,13 м, відстань між насінням – 0,02 м, норму висіву – 246,2 г, густоту стояння розраховували автоматично на основі введених показників (9 000 000 шт./га), початковий покрив культури 0,90%. Для сорту Преміум уведено масу 1 000 зерен 30 г, схожість – 80%, норму висіву – 236,5 г, ширину міжряддя – 0,13 м, відстань між насінням – 0,02 м, густоту стояння – 8 879 012 шт./га, початковий покрив культури 0,89%. Для сорту Україна-96 введено масу 1 000 зерен 29 г, схожість – 76%, ширину міжряддя – 0,13 м, відстань між насінням – 0,02 м, густоту стояння – 8 550 000 шт./га, початковий покрив культури 0,86%. Дата сівби в нашому дослідженні співпадала з датою початку моделювання (симуляції), тобто початком вегетаційного періоду 30 квітня 2017 року для всіх сортів.



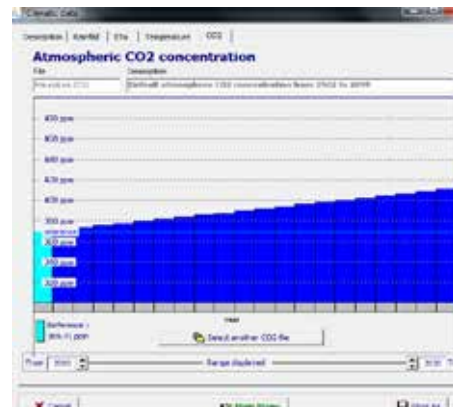
а)



б)



в)



г)

Рис. 1. Діаграми динаміки опадів (а), еталонної евапотранспірації (ЕТо) (б), максимальної та мінімальної температур (в), CO_2 (г) за 2017 рік

Далі нами адаптовано параметри про кількість днів із першого дня після сівби до моменту проростання, до дати утворення максимального «покриву» культури, до дати «старіння» СС, термін до дати повної стиглості культури і дані щодо тривалості цвітіння сортів рису. Необхідні гідралічні характеристики ґрунту використано з польових спостережень (найменша польова вологоємність – FC), вологість в'янення (WP) та порівняно з показниками текстури ґрунтових ресурсів бази даних AquaCrop відповідно до властивостей місцевих середньосуглинкових ґрунтів на двох ґрунтових рівнях (рис. 2): для шару ґрунту 0,30 м FC дорівнювала 22%, PWP 10%, для шару 0,90 дані FC 31%, PWP 15%.

Після калібрування здійснено планування конкретної стратегії зрошення, обрано режим «автоматичної генерації режимів зрошення», метод краплинного зрошення, критерій і глибини. Далі здійснено сценарії моделювання дійсного графіка іригації з різними характеристиками і варіантами показника допустимого виснаження відсотку від RAW. Перевагою цього режиму формування графіка є те, що, зберігаючи вміст води в ґрунті між FC (найменшою польовою вологоємністю)

і порогом RAW (вода, легкодоступна для рослини), втрати води через глибоке просочування обмежені, а стрес води і втрати врожаю виключаються, що актуально для особливостей вирощування культури рису.

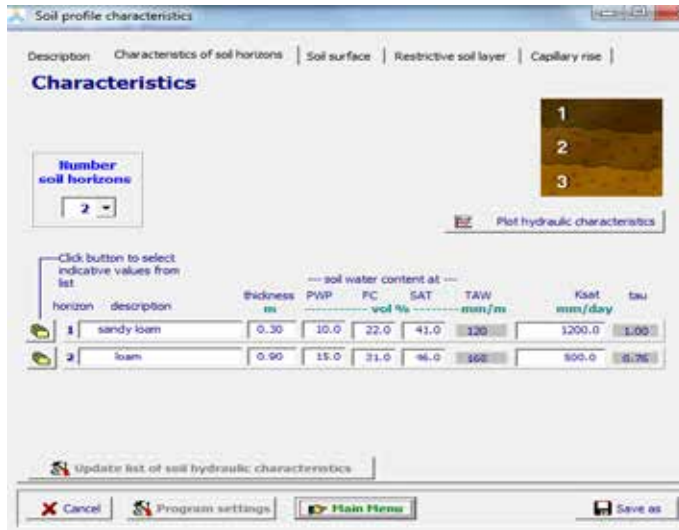


Рис. 2. Копія екрану характеристик профілів ґрунтів

У нашому дослідженні була обрана стратегія формування біологічно оптимального режиму зрошення для більш зручного порівняння продуктивних ознак сортів рису.

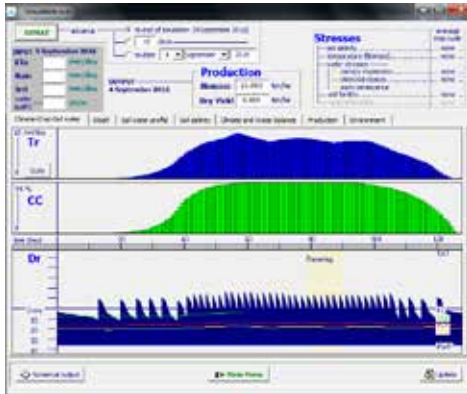
Після формування діаграм «Клімат-Культура-Ґрунтова волога» з характеристиками кількості врожайності біомаси та зерна проаналізовано оптимальні співвідношення між введеними параметрами режиму та отриманням найвищої урожайності сортів рису з використаною водою на зрошення. На рисунку 3(а) демонструється динаміка змодельованих транспірації (Тг), покриву культури (СС) та вмісту води в кореневій зоні (Dr) для сорту Віконт упродовж вегетаційного періоду 128 днів.

На рисунку 3(б) зображена зведена форма водного балансу всіх вхідних та вихідних потоків, сформовано графік іригації біологічно оптимального режиму зрошення за умов 78% виснаження від RAW з датами поливів і фіксованою поливною нормою 200 м³/га та виведена загальна зрошувальна норма 8 600 м³/га. Урожайність сорту Віконт склала 9,5 т/га (біомаса 21,1 т/га), співвідношення між реально отриманою та потенційною біомасою з обліком відсутності стресів за період розвитку культури склало 100% (рис. 3 (в), водна продуктивність 1,29 кг/м³).

Аналогічно проведено моделювання врожайності, графіків зрошення для сортів рису Преміум та Україна-96.

Використовуючи для всіх досліджуваних сортів однакову зрошувальну норму 8 600 м³, кожний сорт сформував різну врожайність, кількість біомаси та водну продуктивність. Урожайність рису для сорту Преміум склала 9,2 т/га (біомаса 20,4 т/га), водна продуктивність – 1,27 кг/м³, урожайність рису сорту Україна-96 склала 9,3 т/га (біомаса 20,7 т/га) з ET_{wp} 1,28 кг/м³, співвідношення між реально отриманою та потенційною біомасою сортів склало 100% з обліком відсутності стресів за період розвитку культури. У вікні режиму «Crop characteristics» користувач має можливість відкоригувати консервативні параметри з обліком конкрет-

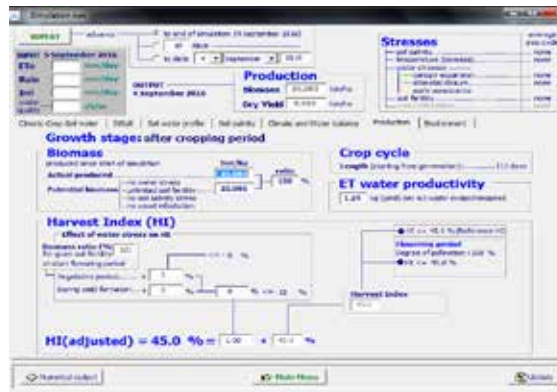
них кліматичних умов та умов агротехніки певної культури, на рисунку 4 (а) зображено пункт евапотранспіраційних характеристик рису, коефіцієнт культури K_c , ефект покриття культури в останню фазу циклу. На рисунку 4 (б) зображено динаміку водних стресів з індикаторами «збільшення покриття», «змикання продихів», «попереднього старіння біомаси», «стресу аерації» та «динаміки змінення індексу врожайності в періоди цвітіння та формування врожаю».



а)



б)



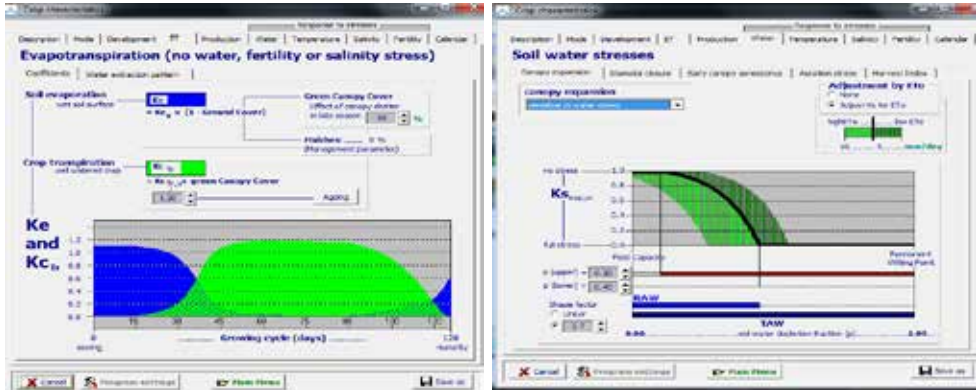
в)

Рис. 3. Згенеровані форми в режимі «Запуск моделювання» для сорту рису Віконт

Позитивною характеристикою програми є те, що на кожному етапі моделювання є можливість контролю водного та сольового балансів, усіх видів стресів на певних фазах розвитку культури, у процесі якого можна відкоригувати стрес шляхом додавання (зменшення) норм зрошення, або зміни строку сівби, густоти стояння рослин тощо (рис. 5).

Після запуску моделювання AquaCrop порівнює показники моделювання з польовими даними і представляє на графічному дисплеї результати у вигляді статистичних даних: коефіцієнт кореляції Пірсона (r), середньої квадратичної похибки (RMSE), звичайної кореляційної середньої квадратичної похибки (CV (RMSE)), коефіцієнта корисної дії моделі (NF) для моделі Nash-Sutcliffe, індексу

договору Вільмота (d). На рисунку 6 зображено результати оцінки змодельованих (лінія) і фактичних (крапки) даних із їх стандартними відхиленнями (вертикальні лінії) щодо СС рису в меню «Оцінка результатів моделювання».



a)

b)

Рис. 4. Копії екранів режиму «Crop characteristics»

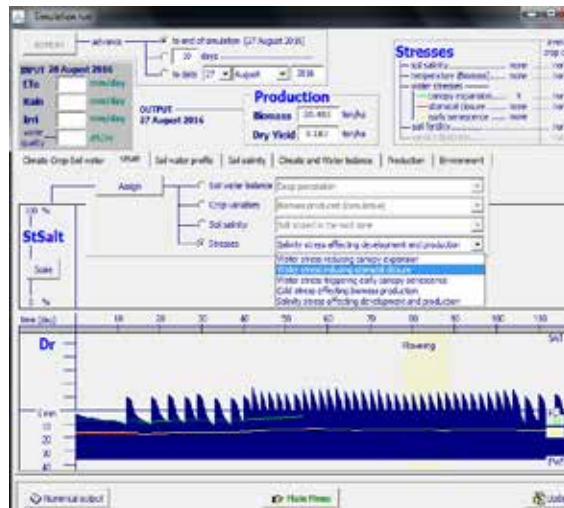


Рис. 5. Копія форми екрану режиму контролювання балансів

Висновки. Методом імітаційного моделювання встановлено складники продукційного процесу рису. Продемонстровано зручність, точність та надійність розробленої моделі для управління, моделювання та прийняття рішень із точки зору формування врожайності, біомаси сортів рису, розробки іригаційних моделей із метою ведення ефективного агровиробництва. Адапування наданої AquaCrop інформації щодо досліджуваних сортів рису дозволило автоматично (з достатньою точністю програмного забезпечення) згенерувати біологічно оптимальні режими за умов краплинного зрошення сортів рису Віконт, Преміум та Україна-96, порівняти їх врожайність та водну продуктивність. Найвищу врожайність та водну продуктивність у досліді сформував сорт Віконт – 9,5 т/га; 1,29 кг/м³ відповідно.

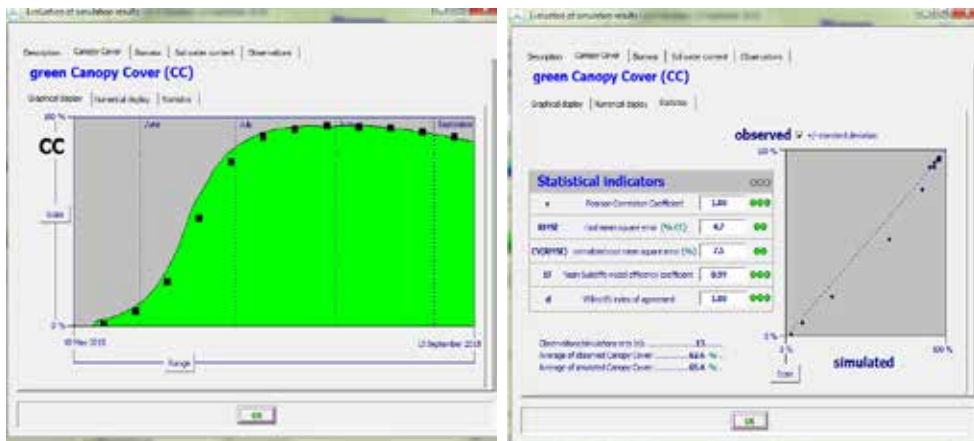


Рис. 6. Результати оцінки моделювання покриття культури (CC) сорту рису Віконт

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Системи землеробства на зрошуваних землях України / за наук. ред. Р.А. Вожегової. Київ : Аграрна наука, 2014. С. 15.
2. Вожегова Р.А. Напрями адаптації галузі рослинництва до регіональних змін клімату. *Кліматичні зміни та сільське господарство. Виклики для аграрної науки та освіти*. Збірник тез II міжнародної науково-практичної конференції. Київ – Миколаїв – Херсон : ДУ НМЦ «Агроосвіта». 2019. С. 6–9.
3. Швартау В.В., Михальська Л.М., Дудченко В.В., Скидан В.О. Content of inorganic elements in rice grain depending on irrigation methods. *Plant Varieties Studying and Protection*. 2019. № 4. С. 417–423.
4. Аверчев О.В., Осінній А.О., Кохоров А.А. Сучасний стан та напрями підвищення ефективності виробництва рису в Україні. *Економічний потенціал аграрного сектору України: наукові підходи та практика реалізації*. Збірник тез міжнар. наук.-практ. інтернет-конф. Херсон : ДВНЗ «ХДАУ». 2017. Ч.1. С. 8–11.
5. Markovska O.Y. Modelling productivity of crops in short crop rotation at irrigation taking into account agroecological and technological factors: monograph «Current state, challenges and prospects for research in natural sciences», January 2019. P. 172–191. DOI: 10.36059/978-966-397-156-8/172-191.
6. Vozhehova R.A., Lykhovyd P.V., Kokovikhin S.V., Biliaieva I.M., Markovska O.Y., Lavrenko S.O., Rudik O.L. Artificial neural network and their implementation in agricultural science and practice: monograph. Warsaw: «Diamond trading tour», 2019. 108 p.
7. Araya A., Prasad P.V.V., Gowda P.H., Afewerk A., Abadi B., Foster A.J. Modeling irrigation and nitrogen management of wheat in northern Ethiopia. *Agricultural Water Management*. 2019. Vol. 216(C). P. 264–272. DOI: 10.1016/j.agwat.2019.01.014.
8. FAO irrigation and drainage paper by Pasquale Steduto (FAO, Land and Water Division, Rome, Italy) T. Hsiao (University of California, Davis, USA) Elias Fereres (University of Cordoba and IAS-CSIC, Cordoba, Spain) D. Raes (KU Leuven University, Leuven, Belgium). FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. Rome. 2012. № 66. P. 70–85.
9. García-Vila M., Fereres E., Mateos L., Orgaz F., Steduto P. Deficit irrigation optimization of cotton with AquaCrop. 2009. Vol. 101. Issue 3. P. 477–487. DOI: 10.2134/agronj2008.0179s.