

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Гідрометеорологічний інститут
Кафедра агрометеорології та
агрометеорологічних прогнозів

ДИПЛОМНИЙ ПРОЕКТ

рівень вищої освіти: «спеціаліст»

на тему : **Моделювання впливу різних строків виникнення**
фітофтори на формування врожайності картоплі в
Волинській області

Виконала студентка I курсу групи МСА-516
спеціальності 103 «Науки про Землю»,
спеціалізації «Агрометеорологія»
Авраменко Валерія Вікторівна

Керівник к.геогр.н., доцент
Свидерська Світлана Михайлівна

Рецензент к.геогр.н., доцент
Бояринцев Євген Львович

Одеса 2017

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Інститут _____ Гідрометеорологічний _____
Кафедра _____ агрометеорології та агрометеорологічних прогнозів _____
Рівень вищої освіти _____ спеціаліст _____
Спеціальність 103 «Науки про Землю», спеціалізація «Агрометеорологія» _____
(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри агрометеорології та
агрометеорологічних прогнозів

_____ Польовий А.М.

« 13 » березня 2017 року

З А В Д А Н Н Я
НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЕКТ СТУДЕНТЦІ

АВРАМЕНКО ВАЛЕРІЙ ВІКТОРІВНИ

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту «Моделювання впливу різних строків виникнення фітофтори на формування врожайності картоплі в Волинській області»

керівник проекту Свидерська Світлана Михайлівна к.геогр.н., доцент
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від “17” грудня 2016 року № 372-«С»

2. Строк подання студентом проекту 1 червня 2017 р.

3. Вихідні дані до проекту Вплив різних термінів виникнення фітофтори на формування врожайності картоплі в Волинській області

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Описати динамічну модель продукційного процесу картоплі, провести чисельні експерименти з розробленою моделлю впливу різних термінів виникнення фітофтори та вплив її на формування врожаю картоплі в Волинській області. Провести аналіз як здійснюється вплив різних термінів виникнення фітофтори на врожайність картоплі і як проходить формування врожаю картоплі без впливу різних строків виникнення фітофтори.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)
Графіки впливу різних строків виникнення фітофтори на формування окремих органів рослини та на формування врожайності картоплі в цілому. Графіки без впливу різних строків виникнення фітофтори на формування врожайності картоплі в Волинській області

6. Консультанти розділів проекту

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

7. Дата видачі завдання 13 березня 2017 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту	Термін виконання етапів проекту	Оцінка виконання етапу	
			у %	за 4-х бальною шкалою
1	Отримання завдання, збір даних для виконання проекту	13.03.2017 р.- 26.03.2017 р.	92,0	Відм.
2	Ознайомлення з об'єктом дослідження, методиками проведення розрахунків, написання вступу, глави 1	27.03.2017 р.- 02.04.2017 р.	88,0	Добре
	Атестація I	03.04.2017 р.- 08.04.2017 р.	90,0	Відм.
3	Вивчення динаміко-математичної моделі продукційного процесу картоплі	09.04.2017 р.- 23.04.2017 р.	92,0	Відм.
4	Вивчення впливу різних строків виникнення фітофтори на формування врожайності картоплі та проведення чисельних розрахунків за моделлю, підготовка 3 глави проекту	24.04.2017 р.- 02.05.2017 р.	89,0	Добре
	Атестація II	03.05.2017 р.- 06.05.2017 р.	90,0	Відм.
5	Аналіз розрахунків, підготовка 4 і 5 глав проекту	07.05.2017 р.- 28.05.2017 р.	89,0	Добре
6	Виправлення зауважень, остаточне оформлення проекту, написання доповіді, підготовка презентації	29.05.2017 р.- 01.06.2017 р.	92,0	Відм.
	Інтегральна оцінка виконання етапів календарного плану (як середня по етапам)		90,3	

Студентка

(підпис)

Авраменко В.В.

(прізвище та ініціали)

Керівник проекту

(підпис)

Свидерська С.М.

(прізвище та ініціали)

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
1 ФІЗИКО-ГЕОГРАФІЧНИЙ ОПИС І АГРОКЛІМАТИЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА ВОЛИНСЬКОЇ ОБЛАСТІ.....	8
1.1 Загальна фізико-географічна характеристика Волинської області.....	8
1.2 Агрокліматичні особливості Волинської області.....	11
2 БІОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ КАРТОПЛІ ПО ВІДНОШЕННЮ ДО ФАКТОРІВ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА.....	15
2.1 Ботанічна характеристика картоплі.....	17
2.2 Відношення картоплі до температури.....	21
2.3 Відношення картоплі до світла і вологи.....	24
2.4 Вимоги картоплі до ґрунту та елементів мінерального живлення.....	27
2.5 Сорти картоплі.....	35
3 СУЧАСНИЙ СТАН МОДЕЛЮВАННЯ Й ПРОГНОЗУВАННЯ ВРОЖАЮ КАРТОПЛІ.....	41
3.1 Моделювання процесів формування врожаю картоплі.....	42
3.2 Продукційний процес рослин (ППР).....	53
3.3 Моделювання основних складових продукційного процесу рослин.....	55
4 СУЧАСНИЙ СТАН МОДЕЛЮВАННЯ РОЗВИТКУ ІНФЕКЦІЇ.....	63
4.1 Моделювання розвитку інфекції і її впливу на продуктивність рослин.....	65
4.2 Параметри блоку розвитку інфекції.....	69
4.3 Опис структури моделі.....	71
5 МОДЕЛЮВАННЯ ВПЛИВУ РІЗНИХ ТЕРМІНІВ ВИНИКНЕННЯ ФІТОФТОРИ НА ФОРМУВАННЯ ВРОЖАЮ КАРТОПЛІ В ВОЛИНСЬКІЙ ОБЛАСТІ.....	76
5.1 Формування врожайності картоплі в Волинській області при відсутності фітофтори.....	76

5.2 Формування врожайності картоплі при впливі раннього терміну виникнення фітофтори в Волинській області.....	82
5.3 Формування врожайності картоплі при впливі середнього терміну виникнення фітофтори в Волинській області.....	88
5.4 Формування врожайності картоплі при впливі пізнього терміну виникнення фітофтори в Волинській області.....	94
ВИСНОВКИ.....	101
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	103

ВСТУП

Картопля (лат. *Solanum tuberosum*) - вид рослин родини пасльонових, поширена сільськогосподарська культура, яку в народі називають «другим хлібом»; одна з найважливіших продовольчих, технічних і кормових культур.

Картопля – цінна продовольча, технічна і кормова культура. Головний харчовий компонент картоплі – вуглеводи у вигляді крохмалю. У різних його сортах міститься від 17 до 30% сухої речовини, з якої 70 - 80% доводиться на крохмаль і до 3% на білкові речовини. У бульбах є вітаміни А, В, В1, В2, РР. Картопля є незамінною сировиною для крохмалопаточної і спиртної промисловості. Бульби використовують на корм худобі як в свіжому, так і в переробленому вигляді.

Картопля – пластична культура, її можна обробляти з високим економічним ефектом в різних ґрунтово-кліматичних зонах України. За ґрунтово-кліматичними та еколого-географічними умовами майже весь регіон Карпат сприятливий для вирощування картоплі. Чимало господарств Закарпатської, Чернівецької, Івано-Франківської та Львівської областей в останніх десятиріччях досягли значного підвищення врожайності цієї культури.

За останніх 10-12 років ця культура майже повністю перемістилася на присадибні ділянки, городи, індивідуальні особисті господарства. Вважається, що для вирощування на великих площах це дуже нерентабельна і трудомістка культура. Проте досвід вирощування картоплі свідчить, що за здобуття програмованої врожайності – це одна з найприбутковіших культур.

Картопля починає свою історію з території Південної Америки, там і досі можна знайти дикі рослини картоплі. Стародавні індіанці вживали картоплю в їжу аж 14 тисяч років тому. Одомашнити цю культуру встигли ще до нашої ери у районі сучасного південного Перу. На територію Європи картопля потрапила у середині XVI століття. Спочатку європейці використовували цю рослину, як і помідори, з декоративною метою. Її

кущами прикрашали клумби, а з квіток робили букети. Лише на початку XIX століття картоплю почали активно вживати у їжу. На територію Російської імперії картоплю привіз у першій половині XVIII століття Петро I й всіляко сприяв її розведенню. На території сучасної України картопля вперше з'явилась у 1680-х роках. Король Ян III Собеський спробував у Відні страву з картоплі, яка йому дуже сподобалась, тож він вирішив розвести цю культури у межах своїх володінь. Так картопля з'явилась у Жовкві, Золочеві, Янові, Помор'ях та Олеську. За іншою версією, вперше картопля з'явилась в Україні 1780 році при маєткові графа Потоцького. Так чи інакше – з того часу вона нікуди не зникала зі столів українців.

Сьогодні картоплю вирощують у всіх регіонах України, на городах населення під неї відводять 70% площі. Окрім того, що картопля – цінний продукт харчування, її використовують ще й для виробництва крохмалю, молочної кислоти, ацетону та спирту. Картопляний крохмаль є обов'язковим компонентом для виготовлення більше як 500 найменувань продукції.

З XX століття картопля активно використовується у кулінарії на всіх континентах. Можна сміливо стверджувати, що це – один з основних продуктів харчування людства поряд з рисом та пшеницею. Бульба забезпечує організм людини у багатьох поживних елементах, адже має значний вміст вітамінів, амінокислот, крохмалю та інших мінеральних сполук.

Як стверджують кулінари, із картоплі можна приготувати більше 1000 страв: її можна варити, тушкувати, смажити й пекти. Попри те, що страви з картоплі є дуже поживними й ситними, вона вважається продуктом низької калорійності – щоб отримати 100 калорій потрібно аж 158 грамів картоплі.

У кулінарії використовуються тільки столові сорти картоплі, що мають найвищі смакові якості: високий вміст крохмалю та вітаміну С, ніжна м'якоть жовтого кольору.

Картопля цінна кормова культура, картоплиння використовують на корм тваринам у свіжому і засилосованому вигляді. Картопля – основна сировина для крохмально-патокової й спиртової промисловостей.

Картопля – інтенсивна культура, що вимагає великих витрат праці і засобів. Недотримання технологій неминуче дає великі збитки, пов'язані із значною вартістю посадочного матеріалу. Кращими попередниками картоплі є: огірки, редис, редька, квасоля, зелений горошок. Не можна розміщувати картоплю після томату, баклажана. Розмножується картопля бульбами – це основний вигляд її відтворення. Проте для швидкого розмноження цінних сортів сповна застосовні способи безклубневих посадок. Також, вирішальне значення для здобуття високих стійких урожаїв картоплі має сорт, оскільки багато сортів швидко псується вірусними, виродковими і мікроплазмовими хворобами, а високі температури в літній період сприяє масовому розмноженню переносників захворювань.

Значні коливання врожайності картоплі визначаються як впливом погодних умов на фотосинтетичну продуктивність рослин, так і впливом цих же умов на ступінь розвитку популяції шкідників і різних інфекцій, що визначають їх шкодочинність. Найбільше зниження врожаю викликається фітофторою. Недобори врожаю за рахунок впливу, шкідників і хвороб можуть складати до 20-30 % і більше.

Актуальність цієї теми визначається практичною необхідністю розробки математичної моделі, яка описує вплив різних строків виникнення фітофтори на формування врожайності картоплі.

У даному дипломному проекті розглядаються як теоретичні, так і практичні аспекти моделювання впливу різних термінів виникнення фітофтори на формування врожайності картоплі в Волинській області.

Виходячи з цього, основною метою даної роботи, є моделювання впливу різних термінів виникнення фітофтори на формування врожайності картоплі в Волинській області.

1. ФІЗИКО-ГЕОГРАФІЧНИЙ ОПИС І АГРОКЛІМАТИЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА ВОЛИНСЬКОЇ ОБЛАСТІ

1.1 Загальна фізико-географічна характеристика Волинської області

Волинська область - область на північному заході України в межах Поліської низовини (понад 3/4 території) та Волинської височини. Поверхня області переважно рівнинна із загальним нахилом у північному напрямі. Понад 75% території лежить у межах Поліської низовини; південну частину області займає Волинська височина [1].

Клімат помірно континентальний з м'якою зимою і теплим вологим літом. Середня температура повітря січні $-4,4...-5,1^{\circ}\text{C}$, липні $+18,8^{\circ}\text{C}$. опадів 550-640 мм на рік, найбільше їх влітку.

Більшість річок належить до басейну Прип'яті, що протікає на півночі області (Стир, Стохід, Турія). На заході протікає Західний Буг з притоками. Для річок характерне мішане живлення з перевагою снігового (60-70%). На території області багато озер (Світязь, Пулемецьке, Турське, Луката ін.) більшість яких карстового походження.

Ґрунти дерново-підзолисті, дернові та різні типи болотних на півночі, темно-сірі опідзолені й чорноземи – на півдні. Трапляються сірі лісові та ясно-сірі лісові ґрунти. В області піддається ерозії 20% території, в північних районах переважно під впливом вітру, в південних – води.

Мінерально-сировинний потенціал області характеризується наявністю в надрах 18 видів корисних копалин, серед яких 12 видів, таких як: вугілля, газ, торф, природний гелій, германій, пісок скляний, підземні прісні води і т.д. відносяться до корисних копалин загальнодержавного значення.

Область лежить переважно в зоні мішаних лісів, тільки на півдні вона заходить у лісостепову зону. Лісами вкрито близько третини території. До головних лісо утворюючих порід відноситься: сосна звичайна, вільха чорна,

береза бородавчаста, дуб чересчатий. Серед лісів бори складають 22%, субори 35%, діброви 6% вкритої площі.

В загальному флора судинних рослин області складає 1525 видів, на території області зростає 72 види рослин занесених до Червоної книги України, причому лише близько половини з них перебуває в межах природно-заповідного фонду.

Фауна хребетних області складає 387 видів, на території області зустрічається 94 види тварин занесених до Червоної книги України.

За останні роки спостерігається негативна тенденція до збільшення кількості випадків самовільних рубок в лісах області, катастрофічне зниження чисельності зубра з 205 голів (1990 р.) до 25 (2002 р.), а також поступове зменшення чисельності мисливської та іншої фауни. Натомість збільшується площа природно-заповідного фонду області [1].

Волинська область – одна з 25 областей Радянської України, утворена 4 грудня 1939 р. Площа області – 20,2 тис. км кв., що становить 3,3% території УРСР, густота населення (48 чол. на 1 км кв) менша від середньої по республіці (76 чол. на 1 км кв.), що пояснюється складністю використання природних умов. Проте освоєння цієї території почалось давно, саме тут виникли одні з найстаріших міст України (Володимир-Волинський, наприклад, згадується в літописах під 988 р., Луцьк – під 1085 р. Турійськ – під 1097 р., Камінь-Каширський – під 1196 р.).

Крайня західна точка області – с. Забужжя Любомльського району (23°45' східної довготи), східна – с. Липне Ківерцівського району (26°05' східної довготи), південна – с. Піски Горохівського району (50°18' північної широти) і північна – с. Мукошин Любешівського району (51°54' північної широти).

Волинська область межує на півдні з Львівською областю, на сході з Ровенською, на півночі з Білорусією, на заході (по р. Західний Буг) з Польщею [1].

Ландшафти області належать до двох типів: поліського, з перевагою боліт, луків, дубово-соснових і дрібнолистих лісів та лісостепового, з поширенням в доісторичному минулому лучних степів та дубово-грабових лісів, а в наш час переважно орних земель.

Волинська область має рівнинну поверхню, середня висота якої 195 м н. р. м., отже, дещо вища від середньої висоти рівнинної частини республіки в цілому. Найвища точка поверхні Волині досягає 292 м н. р. м. і розташована на півдні області, недалеко від с. Бужани Горохівського району; найнижча її точка – в долині р. Прип'ять, біля устя р. Стохід і піднімається на 139 м н. р. м., отже, відносна різниця у висотах між південним і північним краєм області становить 150 м. Віддаль між цими двома крайніми за висотою точками дорівнює по прямій 180 км, отже похил поверхні області на перший погляд може здатися досить значним (близько 0,8 м на 1 км віддалі). Насправді похили поверхні області різноманітні і, як правило, значно менші від вказаної величини. Особливо незначні похили поверхні спостерігаються в її поліській частині, де максимальні відносні висоти не перевищують 60 м, а здебільшого не досягають 30 м. Тільки в південній, лісостеповій частині області відносні висоти становлять 100 м, що створює порівняно значні похили поверхні, особливо між ріками та їх місцевими вододілами. Від величини похилів поверхні залежить швидкість стікання дощових вод, швидкість течії води в річках, а чим більша швидкість течії, тим більша ерозійна (розмиваюча) здатність водних потоків. Отже, південна, лісостепова частина області має сприятливі природні передумови для поширення ерозії.

Незважаючи на рівнинність поверхні області, через її територію проходить частина Головного Європейського вододілу, що ділить басейни рік Чорного і Балтійського морів, а саме Прип'яті і Західного Бугу.

1.2 Агрокліматичні особливості Волинської області

Волинська область розташована в помірному кліматичному поясі, тому кліматичні умови загалом є сприятливими для сільськогосподарського виробництва. Сонячна радіація, температура повітря і ґрунту, вологість повітря, опади, вітер впливають на ріст і розвиток рослин, визначають характер і продуктивність сільськогосподарського виробництва. Її крайнє північно-західне положення в межах України визначає атлантико-континентальне перенесення повітряних мас, яке формує помірний, вологий клімат з м'якою зимою, нестійкими морозами, нежарким літом, значними опадами, затяжною весною та осінню. Основними центрами, що визначають циркуляцію повітряних мас на території Волинської області є Ісландський мінімум, Арктичний максимум, Середземноморський мінімум, Азорський максимум, Азійський максимум [1].

Агрокліматичні ресурси природні ресурси, які визначають можливості сільськогосподарського виробництва того чи іншого регіону. В першу чергу до них відносяться термічні ресурси та ресурси зволоження, які характеризують умови росту та розвитку сільськогосподарських культур і визначаються сумою температур повітря за період між датами переходу через 10 °C, а ресурси зволоження різними коефіцієнтами. Поліська частина області розташована на зниженій терасовій рівнині, а лісостепова – на підвищеному Волинському плато, але географічна широта не зумовлює зростання температур з півночі на південь, бо вони в південній частині області знижуються за рахунок збільшення висоти поверхні над рівнем моря.

Взимку і влітку переважають напрямки західних та південно-західних вітрів, які пом'якшують температурний режим і створюють умови достатнього зволоження. Світловий і температурний режим залежить від надходженням сонячної радіації та її перерозподілу біля земної поверхні.

Річний прихід сумарної сонячної радіації на території області становить 92,7 ккал/см². Пряма сонячна радіація складає лише 40 % від

сумарної через значну хмарність. Річна тривалість сонячного сяйва у середньому становить 1818 годин [1].

Температура повітря впливає на розвиток органічного світу, визначає взаємозв'язки між різними компонентами природно-територіальних комплексів, а також визначає характер та режим погоди.

Температурний режим території узгоджується з динамікою поазників сонячної радіації та тривалості сонячного сяйва. Найвищі середньомісячні температури характерні для липня ($+18,8^{\circ}\text{C}$), найтепліше влітку на південному сході області ($+18,3^{\circ}\text{C}$). Найхолодніше влітку на північному сході області, де температура повітря може опускатися нижче $+16^{\circ}\text{C}$. Найнижчі середньомісячні температури в області спостерігаються взимку, зокрема в січні ($-2,3^{\circ}\text{C}$ - $3,0^{\circ}\text{C}$). Середньорічна температура коливається в межах $7,6^{\circ}\text{C}$ - $8,2^{\circ}\text{C}$. Найтепліше в усі пори року на північному заході області (середньорічна температура тут на $0,3^{\circ}\text{C}$ вища, ніж середня по області). Абсолютний мінімум за останні 25 років становить -36°C , максимум $+37^{\circ}\text{C}$.

На території бласті за рік у середньому випадає 609 мм опадів, хоча у деякі роки цей показник дуже відхиляється від норми. Наприклад, у 1998 р. Випало 1001 мм опадів, а в 1995р. -лише 404 мм. Упродовж року найменше їх випадає взимку, найбільше - влітку. Понад 70% річних опадів випадає за теплий період [1].

Середня вологість повітря у Волинській області становить 80 %. Найбільшим цей показник є в листопаді, грудні, січні, найнижчим — у травні та червні. Упродовж року на Волині нараховується приблизно 112 вологих днів (вологість 80% і більше) та 8 сухих (вологість 30% і менше).

Річний хід атмосферного тиску зумовлений сильним вихолоджуванням поверхні взимку та нагріванням її в літній період. Найбільші показники середньомісячного тиску спостерігаються зимою, найменші — влітку. Середнє значення атмосферного тиску - 744 мм.рт.ст.

Середня річна швидкість вітру в межах області коливається в межах 3,2 - 3,8 м/с. Взимку переважають західні і південно-західні вітри, весною - південно-східні, влітку - західні і північно-західні, восени - західні і південно-східні.

Спостереження за погодою на території області здійснюють 6 метеостанцій (Луцьк, Ковель, Любешів, Світязь, Маневичі, Володимир-Волинськ), 21 агрометпост. Аналітичні обробки даних здійснюються у Волинському обласному центрі гідрометеорології (м.Луцьк).

У цілому кліматичні умови області сприятливі для життєдіяльності людини і не створюють додаткових труднощів для промислового, транспортного і цивільного будівництва. Кількість вологи, висота й щільність снігового покриву, теплові ресурси достатні для вирощування багатьох сільськогосподарських культур [1].

Кліматичні умови області загалом сприятливі для розвитку сільського господарства. Значна кількість опадів і великі запаси води у ґрунті достатні для вирощування багатьох сільськогосподарських культур, які районовані для помірного поясу. Але, перезволоження ґрунтів у поліській частині області потребує проведення меліоративних заходів. Сніговий покрив на більшості території Волині формує сприятливі умови для перезимівлі озимих культур, багаторічних трав, плодових дерев. В області спостерігається тривалий період інтенсивної вегетації і теплові ресурси достатні для вирощування багатьох культур.

Північно-західна частина області належить до вологої, помірно теплої, а південно-східна до недостатньо вологої, теплої агрокліматичних зон. Розташування області у двох агрокліматичних зонах, зумовлює відмінності в спеціалізації галузей сільського господарства південних і північних районів, що є своєрідністю її агрогеографічного положення. Отже, кліматичні ресурси зони Лісостепу сприяють вирощуванню зернових, технічних та плодових культур, а у зоні Полісся – технічних, кормових культур та картоплі. Ці особливості наклали відбиток на розвиток сільського господарства, на

розміщення зернових, технічних, кормових культур та картоплі, на спеціалізацію тваринництва у південній і північній частинах. У сільському господарстві використовуються рослинні ресурси, які представлені луками і пасовищами, вони переважають в поліській частині області. Видовий склад рослин тут зберігся з давніх часів і характерний для лісостепової і поліської зон України [1].

Життя рослин, їх ріст та розвиток відбуваються в результаті постійної взаємодії з довкіллям. Найінтенсивніше ці процеси проходять при наявності необхідних факторів у оптимальній кількості. Тому комплексне вивчення закономірностей росту, розвитку та формування врожаю сільськогосподарських культур у системі ґрунт–рослина–атмосфера можливі лише на підставі кількісної та якісної оцінки впливу метеорологічних умов. Найвища продуктивність посівів формується завжди при певному поєднанні метеорологічних елементів та оптимальних їх показників, що визначаються біологічними властивостями рослин.

При плануванні й проведенні заходів щодо дальшого розвитку та інтенсифікації сільського господарства необхідно враховувати агрокліматичні умови території. Це дасть змогу максимально використати природні ресурси та послабити вплив несприятливих метеорологічних умов на сільськогосподарські культури.

2. БІОЛОГІЧНІ ОСОБЛИСТІ КАРТОПЛІ ПО ВІДНОШЕННЮ ДО ФАКТОРІВ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

Картопля – багаторічна трав'яниста рослина, але в сільськогосподарській практиці використовується як однорічна культура. Розмножується бульбами. Для прискореного розмноження використовують частини бульб, паростки, черешки. В селекційній роботі застосовують генеративне розмноження насінням. Види, сорти і гібриди картоплі розрізняють і класифікують за морфологічними ознаками підземних і надземних органів.

Рослини, вирощені з насіння, утворюють стрижневу кореневу систему – головний корінь з численними бічними корінцями. При розмноженні бульбами утворюється мичкувата коренева система, яка складається з проросткових, або первинних коренів, що мають вигляд горбиків, пристолонних і столонних коренів.

Основна маса коренів розташована на глибині орного шару, деякі заглиблюються до 70-80 см. В ущільнених суглинистих ґрунтах коренева система зосереджується в поверхневому шарі (0-15 см).

Розвиток кореневої системи залежить від особливостей сорту та умов вирощування. Найбільшого розвитку вона досягає під час цвітіння. В міру дозрівання бульб корені поступово відмирають.

Бульби (столони) являють собою потовщені і вкорочені підземні пагони, від довжини яких залежить компактність або розкиданість гнізда. В ранньому віці на бульбах можна помітити дрібні лусковидні листочки, позбавлені хлорофілу. З розвитком бульб листочки атрофуються, а на їх місці утворюються надбрівні дуги різної форми. У пазухах листочків закладаються бруньки спокою, так звані вічка. У кожному вічку знаходиться не менше трьох бруньок, але проростає тільки основна.

Форма бульб – округла, овальна або видовжена – є досить сталою сортовою ознакою, але тільки на легких супіщаних ґрунтах. На важких,

особливо кам'янистих ґрунтах, формуються бульби з нерівно горбкуватою поверхнею. В окремих сортів вона змінюється залежно від вмісту вологи в ґрунті. При різкій зміні засушливого періоду вологим виникають дітки, тріщини, дуплистість, спостерігається проростання раніше утворених бульб. Під впливом вірусних захворювань утворюються веретено і грушоподібні бульби.

Товщина шкірки бульб залежить від зовнішніх умов. Вологий ґрунт і одностороння дія фосфорних добрив сприяють її потовщенню, сухий ґрунт і азотне та калійне удобрення зумовлюють утворення тонкої шкірки. За характером поверхні шкірка буває гладенькою або сітчастою. По ній розкидані невеликі округлі точки – сочевички, крізь які здійснюється дихання. При удушенні бульб сочевички розростаються.

Забарвлення бульб залежно від наявності і концентрації пігменту антоціану в шкірці може набувати різних відтінків: синього, фіолетового, червоного. При відсутності антоціану бульби мають біле або жовте забарвлення.

У більшості сортів м'якуш білий, у деяких (з підвищеним вмістом каротину) – жовтий, рідше синій, синьо-фіолетовий, рожевий, білий з рожевими плямами, з більш або менш інтенсивно забарвленим судинно-волокнистим пучком.

В бульбах в залежності від місця вирощування і сорту міститься 11 -25 % крохмалю, близько 2 - білка, 0,3 % - жиру. Білок картоплі найбільш повноцінний із усіх рослинних. Він багатий на амінокислоти і відноситься до повноцінних. Із мінеральних речовин картопля найбільш багата на калій (568 мг на 100 г сирої маси) і фосфор (50 мг). У ній містяться солі кальцію, магнію, заліза, вітаміни С і групи В. У бульбах міститься до 3 мг соланіну, тому їх не використовують у сирому вигляді - це може викликати отруєння. На світлі вміст соланіну збільшується до 20-40 мг, тому використовувати в їжу позеленілі бульби без чищення не можна.

Відомо, що із картоплі можна приготувати більше 500 смачних страв. Її використовують у вареному, смаженому, тушкованому, печеному вигляді, а також, заморожують і використовують у переробній промисловості. Завдяки підвищеному вмісту калію картопля сприяє виведенню із організму людини води та хлористого натрію, тим самим покращує обмін речовин.

Картопля - культура досить широких температур; чим більше температура середовища росту картоплі відрізняється від температури батьківщини картоплі, тим більше знижується його врожайність. За агрометеорологічною класифікацією він відноситься до культур помірного, вологого клімату і пухких ґрунтів [32].

На батьківщині культурної картоплі Чилі, вона обробляється в перебігу багатьох тисячоліть в умовах рясного зволоження (до 3000 мм), при середніх добових температурах до 15-16⁰ С, тривалості дня 12-15 годин, вкрай рідкісних заморозків в період вегетації і відносній вологості повітря більше 75 %. Отже, картопля в філогенезі пристосувалася до знижених температур, рясного зволоження і середній довжині дня [31]. Кращі ґрунти для картоплі - легкі піщані [8].

2.1 Ботанічна характеристика картоплі

Картопля (*Solanum tuberosum* L.) - багаторічна трав'яниста рослина з родини пасльонових (*Solanace* L.), яка об'єднує до 150 диких і культурних бульбоплідних видів. У культурі її вирощують як однорічну рослину - щороку висаджують бульби, з яких протягом одного вегетаційного періоду одержують урожай нових стиглих бульб. Можна вирощувати картоплю також з насіння, що застосовується переважно у селекційній практиці.

Коренева система у картоплі, яку вирощують з насіння, має спочатку стрижневу будову - у вигляді зародкового стрижневого кореня з бічними корінцями. Потім в основі стебельця, у його вузлах, які знаходяться у ґрунті,

формується вторинна коренева система, яка разом із зародковою утворюють мичкувате коріння. При вирощуванні картоплі з бульб утворюється лише вторинна мичкувата коренева система.

Близько 70 % коріння картоплі розміщується на глибині до 30 см, а окремі корені досягають глибини 1,5 м.

Стебла трав'янисті, заввишки 30-150 см, у поперечному розрізі ребристі, 3-4-гранні, рідше округлі, опушені. У деяких сортів вздовж стеблових ребер є прямі або хвилясті, вузькі чи широкі крила. У пізньостиглих сортів стебла гілкуються в основному у нижній частині, скоростиглих - у середній. За забарвленням вони можуть бути зеленими, червоно-фіолетовими або червоно-коричневими. Причому антодіанова пігментація залежно від сорту може проявлятися тільки в основі стебла, вздовж більшої його частини або на всій довжині. Інколи спостерігається досить інтенсивна пігментація, при якій стебла стають майже чорними.

Стебло картоплі тригранне, рідше – багатогранне з виростами (крилами) у місцях з'єднання граней на ребрах. Розрізняють кущі мало- і багатостеблі, високі, середні (в більшості сортів) і низькі; компактні й розлогі. Стебла бувають прямої або колінчастої форми. У деяких сортів, особливо ранніх, стебла в кінці вегетації або одразу ж після цвітіння лягають на ґрунт.

Забарвлення стебел зелене з бурим або чорнуватим відтінком. Іноді при значному вмісті антоціану стебла набувають червоно- або синьо-фіолетового забарвлення.

З однієї бульби виростає у середньому 4-8 стебел, з яких утворюється кущ. За виглядом і будовою кущі бувають прямостоячі, розлогі та найгіврозлогі, мало- і багатостеблі, з рівними або ярусними стеблами.

Листок картоплі переривчасто-непарноперисторозсічений. Складається з кінцевої частки, кількох пар бічних часток і дрібніших часточок між ними. Частки і часточки стерженьками кріпляться до стержня, який поступово переходить в черешок листка. Характерною сортовою ознакою є форма краю

часток листка, яка буває дрібно хвилястою, гвинтоподібно-вигнутою, човникоподібно-вигнутою. Квітки картоплі зібрані в суцвіття, яке складається з квітконіжки, квітколожа і квіток. Форма суцвіть компактна або розлога, квітконосів – довга або коротка. Оцвітина колесоподібна, пелюстки зрощені. Іноді з внутрішнього або зовнішнього боку оцвітини з'являються додаткові недорозвинені пелюстки – це явище називають махровістю, воно властиве окремим сортам. Забарвлення оцвітини буває синє, блакитньо- або червоно-фіолетове і біле. Інтенсивність забарвлення визначають по квітках, які щойно розпустилися: з віком рослини вони слабшає. Бутони округлі, овальні або видовжені. Приймочка маточки світло- або чорно-зелена; дозріває звичайно на 3-4 дні раніше від пиляків. Зав'язь верхня цвітіння триває кілька днів.

У листових пазухах підземної частини стебел утворюються бічні пагони - столони завдовжки 5-20 см, іноді до 35-40 см. Ростуть вони у ґрунті більш-менш горизонтально, утворюють у вузлах корінці й здатні самостійно укорінюватися. На кінцях столонів з невеликих спочатку потовщень розвиваються бульби. Листки складні - переривчасто-непарнопірчасторозсічені. Складаються з центрального черешка (стрижня), кількох пар листків або часток, верхівкової непарної частки, між якими розташовані невеликі за розміром частинки і зовсім маленькі часточки. Частки бувають сидячими або розміщеними на коротких черешках. За формою вони округлі, овальні, видовжені, яйцеподібні, ромбічні, гострокінцеві чи овально-гострокінцеві, опушені. Частки, частинки і часточки можуть бути симетричними (рівновеликими) і несиметричними.

Листки розміщені на стеблах спірально. В своїй основі мають два серпоподібні або листкоподібні прилистки. Квітки п'ятичленні: чашечка складається з п'яти гостро-зубчастих, зрослих в основі чашолистків, віночок - з п'яти зрослих пелюсток. У квітці розміщуються п'ять тичинок, пиляки яких на коротких ніжках щільно складені у циліндричну або конусоподібну колонку, та маточка з верхньою зав'яззю із стовпчиком з приймочкою, який

пронизує центральну внутрішню частину колонки і видається над пиляками або рівний з ними, а іноді нижчий за них.

Віночок білий, синій, синьо-фіолетовий, рожевий, червоно-фіолетовий. Пиляки оранжеві, жовті, жовто-зелені. Якщо у квітках утворюються оранжеві або жовті пиляки, пилок яких здатний до нормального запліднення, то при рясному цвітінні на рослинах розвивається багато плодів; у сортів, які мають квітки з стерильними жовто-зеленими пиляками, плоди не утворюються.

Квітки на рослинах зібрані у суцвіття - завійки, яких на одному квітконосі буває від 2 до 4. Плід - багатонасінна двогнізда ягода. Вона округла або округло-овальна, жовто-зелена. Насіння дрібне, яйцеподібно-сплюснуте, блідо-жовте або кремове. Маса 1000 насінин - 0,5-0,6 г.

Бульба - вегетативний орган, який утворюється на кінці підземного стебла - столона.

Біохімічний склад бульб змінюється під впливом різноманітних факторів. Основні хімічні компоненти – вода і крохмаль.

Вода (75%) відіграє важливу роль у біосинтезі органічних сполук як розчинник, середовище для хімічних реакцій, транспортний засіб і температурний регулятор. Найбільший вміст води у молодих бульбах. У період засухи бульби втрачають тургор і віддають воду листю. Іноді при цьому розсмоктуються органічні речовини, які компенсують витрати, зв'язані з інтенсивнішим диханням листя.

Вміст сухих речовин залежить від сорту, ґрунтово-кліматичних умов, агротехніки тощо. Пізньостиглі сорти, як правило, містять їх більше, ніж ранньостиглі. В суху і жарку погоду вміст сухих речовин вищий, ніж у вологу і прохолодну. Період посиленого нагромадження їх співпадає з цвітінням і активним бульбоутворенням. Кількість сухих речовин дещо знижується при внесенні підвищених доз добрив, а також під час зберігання картоплі внаслідок використання вуглеводів на енергетичні потреби (дихання).

Основним компонентом сухих речовин є крохмаль, вміст якого становить 70-80% сухої і близько 18% загальної маси сирих бульб. Він нагромаджується у вигляді зерен. Чим більша кількість крупних крохмальних зерен, тим вища якість картоплі і продуктів її переробки. Крім чистого крохмалю, в зернах міститься 11-22% води, 0,06-0,13% фосфору, 0,016-0,07% ліпідів, 0,002-0,032% кремнію, а також мінеральні елементи: азот, сірка, калій, кальцій, магній. У переважній більшості випадків крохмалистість прямо пропорційна тривалості вегетаційного періоду: ранньостиглі сорти містять від 10 до 16-18% крохмалю, середньостиглі – від 12 до 18-20% і пізньостиглі – від 14-15 до 22-25%. Найвищий вміст крохмалю в бульбах середньої фракції; в дрібних і великих (особливо дуплистих) він дещо нижчий.

2.2 Відношення картоплі до температури

Картопля досить вимоглива до клімату, проте велика різноманітність сортів дає змогу вирощувати її майже на всій території України. Бульби картоплі починають проростати при температурі 8-10°C. Картопля не витримує низької температури і при мінус 1 -2°C гине. Найкраще рослини ростуть при температурі 20°C, а бульби - при 15-18°C. Якщо тривалий час стоїть спекотна погода (температура понад 30°C), то бульби не утворюються.

В умовах високої температури якість бульб погіршується, вони передчасно старіють, а після випадання дощів з їхніх вічок починають рости столони, на яких утворюються нові бульби. Тому для утворення бульб оптимальною є температура ґрунту близько 20°C, за якої асиміляція вуглецю відбувається найбільш інтенсивно. Після формування бульб рослинам потрібна температура ґрунту 15-18°C. Ці особливості покладені в основу боротьби з виродженням картоплі за допомогою літнього садіння.

В умовах достатньої вологості при проростанні бульб коренева система розвивається вже при температурі ґрунту 2 – 4 °С. Ріст пагонів починається при 6 – 7 °С. Якщо температура ґрунту на глибині загортання бульб (6-12 см) нижче цієї межі, їх проростання йде повільно, у зв'язку з чим посилюється ураження рослин ризоктоніозом, чорною ніжкою та іншими хворобами, що призводить іноді до загибелі рослин. Від температури ґрунту залежить не тільки початок зростання паростків, а й поява сходів.

Рослина картоплі досить чутлива до дії негативних температур. Сходи пошкоджуються і частково гинуть при температурі -1,5;-2,0 °С. При поступовому зниженні температури в рослинах збільшується вміст цукру, що підвищує їх стійкість до заморозків до -2,0;-3,0 °С. Цьому ж сприяє внесення під картоплю підвищених доз калійних добрив, а також і її розвиток в умовах зниженої вологості повітря. Пошкоджені заморозками сходи мають високу регенерацію. Ефективна підгодівля таких посівів азотними добривами (40-60 кг/га діючої речовини).

До теперішнього часу накопичилася значна кількість даних, що вказують на порівняно високі вимоги бульб до температури в процесі зростання. Встановлено, що бульби, пройшли період спокою і висаджені у ґрунт, починають проростати при температурі не нижче 3,0-5,0 °С. Але при цих температурах корені утворюються слабо, а бульби легко уражуються грибними хворобами. При збереженні на протязі тривалого часу температури на такому рівні нерідко замість проростків у материнській бульбі передчасно утворюються столони, з великою кількістю молодих бульб, тобто відбувається виростання бульб.

Нормальне виростання бульб відзначається при збільшенні температури до 7,0-8,0 °С. У міру подальшого підвищення температури активність виростання бульб картоплі, особливо у вологому ґрунті, різко збільшується.

Краща температура для проростання бульб 18 -20 °С. Сходи в цьому випадку з'являються на 10-12 день після посадки, в той час як при стійкому

падінні температури нижче 7,0 °C сходи нерідко з'являються через 30-35 днів і навіть через 50 днів [12].

Знижені температури також негативно впливають на ріст рослини картоплі. Так, наростання вегетативної маси майже повністю припиняється при температурі нижче 7 °C, а фотосинтез, хоча і триває аж до заморозків, відбувається дуже повільно.

Бадилля картоплі (листя і стебла) при вирощуванні його на помірно вологих ґрунтах краще розвиваються при температурі повітря 18 -25 °C. У таких умовах асиміляція двоокису вуглецю і утворення вуглеводів також відбувається найбільш інтенсивно. При температурі повітря 40 – 41 °C фотосинтез повністю припиняється [3]. Для ранніх сортів картоплі найбільш сприятливою температурою для утворення бульб є 17 °C, для середньостиглих сортів 19 °C.

Рівень оптимальних температур для утворення бульб змінюється і ці зміни в певних межах залежать не тільки від скоростиглості сорту, а й від комплексу зовнішніх умов.

Високі температури гнітюче діють на утворення бульб картоплі. Не вельми сприятливо такі температури впливають на ранні сорти. При вирощуванні картоплі на протязі 2-х місяців при різних температурах і однакових інших умовах відзначено повне припинення утворення бульб у варіантах з температурою ґрунту 29 °C. У цих дослідях різке гальмування процесу утворення бульб відзначено вже при температурі ґрунту вище 20 °C.

Як встановлено експериментально [3], рівень температури, крім безпосереднього впливу, має велике значення для ферментативних перетворень вуглеводів, що забезпечують накопичення крохмалю в бульбах.

Недостатня температура повітря і ґрунту також негативно позначається на фотосинтетичній діяльності рослин і засвоєнні ними найважливіших елементів живлення. При зниженні температури ґрунту в орному горизонті з 15-20 до 10 – 14 °C істотно зменшується поглинання нітратів (на 20-60 %) і

фосфорної кислоти (на 19-33 %), внаслідок чого бадилля розвивається слабо [10].

Високі температури в поєднанні з довгим днем викликають «кліматичне виродження» картоплі [31]. Особливо несприятливо діють підвищені температури в нічний час доби. «Кліматичне виродження» картоплі починається при середній температурі повітря в період утворення бульб, що перевищує 18 °С. При середній добовій температурі від 19 до 21 °С число дуже тонких і ниткоподібних паростків на бульбах картоплі збільшується і доходить до 20 %. При температурі 24 °С виродження бульб досягає 50 % і більше. При температурі вище 25 °С спостерігається виродження 70 % рослин і більше.

2.3 Відношення картоплі до світла і вологи

Оптимальним запасом вологи в ґрунті для неї є 70-85 % найменшої вологостійкості (НВ). Протягом вегетаційного періоду потреба рослин у волозі змінюється. У першій фазі росту картоплі потрібно значно менше вологи, ніж у період бутонізації, цвітіння і бульбоутворення. Але надмірна кількість опадів (вологи) саме у період бульбоутворення призводить до розростання бульб і утворення на них наростів (діток), насамперед на передчасно достиглих бульбах.

Транспіраційний коефіцієнт картоплі значною мірою залежить від метеорологічних умов і коливається в межах 300-600 г води на 1 г сухої речовини. За своїми біологічними особливостями вона потребує хорошої аерації ґрунту, оскільки коренева система і столони поглинають багато кисню з ґрунтового повітря. У надмірно зволоженому, щільному ґрунті вміст кисню знижується до 2% і нижче, а вміст вуглекислоти зростає до такого рівня, що бульби задихаються і загнивають. Першою ознакою нестачі повітря є поява на поверхні шкірочки бульб (на сочевичках) білих горбочків. У таких

випадках слід вжити заходів для поліпшення аерації - провести глибоке розпушування.

Картопля - культура "пухких" ґрунтів. Найбільш придатні для неї легкі та супіщані, суглинкові ґрунти, в які легко проникає волога та повітря і які містять достатню кількість поживних речовин. Щільність ґрунтів для гарного росту і розвитку рослин повинна бути в межах 1-1,2 г/см. куб. На щільних, важких ґрунтах поява сходів затримується на 5-6 днів, рослини відстають у рості, мають меншу асиміляційну поверхню, знижується врожайність, а бульби деформуються, коренева система поверхнева і погано розвивається. Картопля найкраще росте при слабо-кислій і нейтральній реакції ґрунтового розчину (рН 5,2-7). Важкі карбонатні ґрунти мало придатні для картоплі.

Рослина картоплі пред'являє високі вимоги до умов освітленості, вона дуже світлолюбна. Навіть при невеликому ослабленні освітлення спостерігається пожовтіння бадилля, ослаблення або відсутність цвітіння, зниження врожайності [3]. Експериментами з штучним затемненням посадок встановлено, що освітленість вважається недостатньою, якщо вона знижується у порівнянні з природною на 33 %. При освітленості, відповідної приблизно 30 % природної, відзначено зменшення сухої маси рослин на 38 %. При цьому суха маса стебел збільшувалася на 57 %, а суха маса бульб знизилася на 80 % у результаті чого співвідношення бульби - бадилля різко зменшилося.

За характером фотоперіодичної реакції, картопля віднесена до нейтральних рослин, тобто до таких, які здатні проходити цикл індивідуального розвитку при будь-якій довжині дня. У зв'язку з тим, що у культурних сортів картоплі при короткому дні утворювання бульб прискорюється, а цвітіння при цьому затримується, деякі дослідники відносять її до рослин короткого дня.

В даний час вважається, що всі сорти культурної картоплі здатні зав'язувати бульби і утворювати зачатки квіток при будь-якої тривалості світлового дня, але при короткому дні в температурних умовах середніх

широт прискорюється процес утворення бульб і скорочується тривалість вегетаційного періоду. У таких умовах раніше закінчується ріст стебла, раніше утворюються бульби, але рослини також раніше і відмирають [3].

На ранніх етапах утворення бульб, за цими ж даними, маса бульб в умовах короткого дня вище, ніж в умовах довгого. Але у зв'язку з тим, що при довгому дні формується більш потужне бадилля, визначальна кількість продуктів фотосинтезу, що використовуються при зростанні бульб, загальний урожай бульб при довгому дні найчастіше виявляється вище, ніж при короткому.

Основним процесом утворення органічних речовин рослинами картоплі є фотосинтез. На частку органічних речовин, що утворюються в процесі фотосинтезу рослин, припадає більше 90 % ваги сухих речовин, синтезованих рослинами. При нестачі світла урожай картоплі знижується.

Підвищена вимогливість картоплі до умов освітленості викликає необхідність суворого дотримання оптимальної густоти посадки. В умовах середніх широт потужність світлового потоку у вегетаційний період становить: 55-60 тис. лк в період масових сходів і 41-58 тис. лк в період інтенсивного утворення бульб [21], тобто вона майже в 2 рази підвищує рівень, при якому в польових умовах спостерігається світлове насичення фотосинтезу і тому не є лімітуючим фактором. Встановлено, що оптимальна освітленість у посівах, що забезпечує максимальну продуктивність фотосинтезу при оптимальних умовах тепло- і вологозабезпеченості, створюється при площі листової поверхні 30-40 тис. м²/га. У таких випадках достатня освітленість рослин забезпечує найбільш повне поглинання сонячної радіації.

Світло і тепло мають значення для розвитку і зростання, і створення врожаю при наявності достатнього зволоження ґрунту і повітря в період вегетації. Вода входить до складу органічних речовин і бере участь у всіх фізіологічних і біологічних процесах. Завдяки транспірації забезпечується рух водного розчину поживних речовин з кореня в листя [20].

Оптимальні умови для накопичення врожаю бульб створюються при безперебійному постачанні рослин вологою, що можливо в тому випадку, якщо вологість ґрунту в зоні поширення основної маси коренів в цей період підтримується на рівні 70-80 % повної вологоємності [21].

Як зазначає А.Г. Лорх [10], урожай бульб картоплі ранніх сортів визначається опадами червня, середньостиглих - опадами липня і серпня, а пізніх - опадами липня, серпня і вересня.

2.4 Вимоги картоплі до ґрунту та елементів мінерального живлення

Внесення добрив під картоплю – обов'язкова умова одержання високих урожаїв бульб. Особливо цінні для картоплі органічні добрива, які використовуються не тільки як важливе джерело елементів живлення для рослин, а і як ефективний засіб поліпшення фізичного стану ґрунту та повнішого забезпечення картоплі вуглекислотою.

Найпоширеніше органічне добриво для картоплі – гній. Дані науково-дослідних установ підтверджують його високу ефективність на всіх типах ґрунтів і особливо на дерново-підзолистих ґрунтах Полісся. Картопля добре реагує на внесення високих доз гною – до 60-80 т/га. Однак при визначенні ефективних доз органічних добрив слід враховувати, що при їх підвищенні понад 60 т/га звичайно спостерігається абсолютне збільшення урожаю бульб, але нерідко знижується приріст врожаю на 1 т внесених добрив і підвищується собівартість картоплі.

Картопля висуває підвищені вимоги до ґрунту. Ні в одній іншій культурі величина врожаю й особливо збирання не залежать так сильно від водно-фізичних властивостей ґрунту й рівня її родючості.

Найкраще картопля росте на пухких, добре розпушених ґрунтах. Коренева система картоплі інтенсивно дихає, поглинаючи кисню у 5-10 разів більше, порівняно з іншими рослинами.

Картопля - культура пухких, повітряно - і водопроникних, вологоємних, родючих ґрунтів (піщаних, супіщаних, легко - і середньо - суглинних). Чим менше щільність ґрунту в зоні бульбоутворення й краще постачання кореневої системи киснем, тим вище врожай. Для насичення ґрунту достатньою кількістю кисню, його потрібно утримувати в досить розпушеному стані з об'ємною масою не більше 1,0-1,2 г/см³. У перезволожених, ущільнених ґрунтах вміст кисню зменшується до 2 %, а вміст вуглекислого газу різко збільшується. За таких умов бульби задихаються і загнивають. На ущільнених ґрунтах погано розвиваються столони, картопля формує дрібні, деформовані бульби [35].

Менш придатні для картоплі - легкі, що швидко втрачають вологу піщані ґрунти, важкі суглинки й перезволожені торфовища.

Краще інших рослин переносить підвищену кислотність ґрунту, але найбільш придатні для нього слабокислі ґрунти.

На більше щільних ґрунтах сходи затримуються й у ряді випадків посадкові бульби загнивають. Тому важливо підтримувати ґрунт у пухкому стані протягом усього вегетаційного періоду. У пухких ґрунтах краще проходить газообмін між ґрунтовим й атмосферним повітрям.

Потреба бульб, що проростають, у кисні в багато разів більше, ніж у насінні інших рослин. Нестача кисню в ґрунті може привести до загибелі бульб, що проростають, а в більше пізній період і дорослі рослини.

Картоплю вирощують на удобрених супіщаних і суглинистих чорноземах, дерново-підзолистих, сірих лісових ґрунтах. Для вирощування насіння добре підходять окультурені торфовища. При внесенні високих норм органіки картопля добре родить на легких піщаних ґрунтах. Добрива не можна вносити в піщані ґрунти великими дозами - вони вимиваються. Внесення дрібними дробовими дозами не завжди є повноцінною заміною, тому що без своєчасного дощу такі дози не спрацюють і таке дроблення ускладнює технологію. Оптимальний компроміс для оброблення картоплі на легких ґрунтах - в орієнтації на порівняно менший урожай, але одержуваний

з мінімальними витратами праці й засобів. Такий принцип реалізований у суспільному виробництві. Самі великі плантації картоплі розміщуються на легких ґрунтах.

Малопридатні для вирощування картоплі важкі глинисті ґрунти, особливо з близьким заляганням ґрунтових вод. Не підходять також засолені ґрунти, оскільки картопля має дуже низьку солестійкість. Найкраще росте на слабокислих і нейтральних ґрунтах. При рН нижче 5,0 і вище 8,0 вона росте погано. Добова потреба в кисні корінь становить близько 1 мг/г сухої речовини. Ще більш високу потребу в кисні потребують столони й ростучі бульби.

Вміст повітря в ґрунті залежить від її шпаруватості й пористості. На добре оброблених структурних ґрунтах шпаруватість становить до 65 % обсягу ґрунту.

Шпаруватість значною мірою залежить від щільності ґрунту. Чим ґрунт пухкіше, тим більше її шпаруватість і водоекспортність. Для нормального подиху корінь концентрація кисню повинна бути не менш 5 %, для формування й росту бульб - не менш 20 % обсягу ґрунтового повітря [18].

Для росту й розвитку картоплі необхідно підвищена кількість поживних речовин. У складі сухої речовини картоплі налічується 26 різних хімічних елементів. Найбільше потрібні картоплі азот, фосфор, калій, кальцій й магній. Потреба в елементах харчування зростає в міру росту бадилля й досягає максимуму у фазу цвітіння. Картопля відноситься до калієлюбивої культури, на 1 тону бульб він виносить із ґрунту 5 кг азоту, 2 кг P_2O_5 й 9 кг K_2O . З початком відмирання бадилля потреба в елементах харчування поступово зменшується й після її засихання припиняється.

У середньому для формування 1 т бульб рослини із ґрунту виносять 5-6 кг азоту, 8-10 кг калію, 1,5 - 2 кг фосфори, близько 4 кг кальцію й 2 кг магнію.

В якості органічних використовують також зелені добрива – люпин, ріпак, озиме жито, до яких восени додають повну рекомендовану норму

фосфору й калію, а до ріпаку й озимого жита – $1/3$ норми азоту. Навесні на цих полях зелене добриво придисковують, вносять по 30 т/га гною, який приорюють.

При використанні гною або торфокомпостів вносять повні мінеральні добрива з розрахунку: на чорноземах – N60-90P60-90K60-90; на дерново-підзолистих, сірих лісових, світло-каштанових ґрунтах – 90-120P60-90K90-120. Фосфорно-калійні добрива застосовують восени, азотні – навесні. На осушених торфових ґрунтах слід вносити тільки фосфорно-калійні добрива в дозі P60-90K90-120 і один раз за ротацію добрива із вмістом міді – 5-6 ц/га піритного недогарку або 25-30 кг/га мідного купоросу. За інтенсивної технології всю норму добрив використовують для основного внесення або вносять мінеральні добрива в рядки картоплі (локально) на 5 – 6 см нижче бульб картоплесаджалками при садінні картоплі або культиваторами удобрювачами-гребенеутворювачами КОН-2,8Г. За інтенсивної технології картоплю, як правило, не підживлюють. Але при недостатньому внесенні добрив під обробіток ґрунту слід провести підживлення.

Кращими мінеральними добривами для картоплі є: аміачна селітра, сечовина, суперфосфат, калімагnezія і складні добрива. Хлорид калію, сирі калійні солі для картоплі малопридатні, їх краще не застосовувати.

Кислі ґрунти потрібно вапнувати – піщані з розрахунку 0,6 норми вапна за гідролітичною кислотністю, супіщані – 0,75 норми. Найкраще використовувати для цього доломітове борошно. На засолених ґрунтах півдня України ефективно гіпсування (3-5 т/га гіпсу).

При низькій агротехніці й невеликому врожаю картопля споживає живильних речовин на одиницю врожаю відносно більше. З поліпшенням умов росту й розвитку, а отже зі збільшенням урожаїв бульб картоплі живильні речовини використовуються ощадливіше. Найбільш інтенсивне споживання мінеральних речовин картоплею припадає на період інтенсивного наростання надземної маси й бульбоутворення.

За зовнішніми ознаками рослини можна судити про нестачу того або іншого елементу харчування.

Головними умовами оптимізації кореневого харчування картоплі є достатня насиченість ґрунту фосфатами, максимальна калієм і мінімальна азотом.

Азот для картоплі особливо важливий навесні, у літній період звичайно вистачає азоту, продуційного ґрунтом, тому мінеральні азотні добрива потрібно вносити ранньою весною, до посадки.

При нестачі в ґрунті азоту підземні органи картоплі розвиваються слабо, листя здобувають блідо - зелене забарвлення й стирчить нагору, знижується врожай і крохмальність бульб. При надлишку азоту спостерігається надмірний ріст бадилля, затримується утворення бульб і подовжується період вегетації. Рослині шкідливі як нестача, так і надлишок азоту. При нормальному азотному харчуванні рослина краще засвоює калій і фосфор.

Достатнє харчування фосфором сприяє кращому розвитку кореневої системи, раніше настає період бульбоутворення, збільшується врожай і крохмальність бульб, поліпшуються їхня легкість і насінні якості. При нестачі фосфору затримується розвиток рослин, особливо цвітіння й дозрівання, сповільнюється ріст пагонів і корінь, листи дрібні й вузькі.

Найбільшої уваги вимагає забезпечення картоплі достатнім запасом легкозасвоюваного калію, тому що він не виносить підвищеного вмісту хлору в ґрунті, але з високим урожаєм вимагає так багато калію, що це не можна внести за один раз, обов'язково потрібні підгодівлі. З обліком викладеного під картоплю з осені необхідно вносити 2/3 загальної необхідної дози калію у вигляді хлористого калію, щоб надлишок хлору вийшов з осінньо-весняними водами, що залишилася калій дають у міжряддя після появи сходів, у безхлорній формі, у вигляді сульфату калію. Калій відіграє важливу роль у процесах фотосинтезу, білковому й вуглеводному обмінах, істотно впливає на врожайність й якість картоплі, підвищує стійкість до

заморозків і хвороб. При нестачі калію листи здобувають бронзове забарвлення, стають зморшкуватими й передчасно відмирають, коренева система розвивається слабкіше, бульби набувають трохи подовжену форму, бувають дрібними.

Для нормального росту й розвитку картоплі й одержання високих урожаїв бульб, необхідні кальцій, магній, залізо, марганець, сірка, мідь, цинк.

Тільки при наявності всіх цих елементів у ґрунті для розвитку картоплі забезпечується його найвища продуктивність [3].

Оптимальна реакція середовища для картоплі - рН 5,5- 6,0, хоча вона здатна краще інших польових культур переносити слабокислу реакцію. Картопля добре озивається на вапнування сильно- і середньокислих ґрунтів помірними нормами вапна. При вапнуванні ґрунту повною нормою - за гідролітичною кислотністю - картопля може сильно заражатися паршой, що знижує його товарні й продовольчі якості. Однак у сівозмінах нечорноземної зони поряд з картоплею вирощують культури, строго вимогливі до нейтральної реакції середовища. Без вапнування кислих ґрунтів неможливо забезпечити одержання стійких високих урожаїв таких культур, як пшениця, ячмінь, конюшина, кукурудза, коренеплоди й т.д. Тому при наявності навіть двох-трьох полів картоплі краща сумарна продуктивність сівозміни досягається при вапнуванні кислих ґрунтів по 2/3-3/4 повної норми за гідролітичної кислотності.

Картопля споживає значно більше живильних речовин, чим зернові культури, але менше, ніж цукровий буряк і кормові коренеплоди.

При високій агротехніці в основній зоні оброблення із урожаєм картоплі на кожні 100 ц бульб і відповідна кількість бадилля виноситься 40-60 кг N, 15-20 кг P₂O₅ й 70-90 кг K₂O.

Картопля володіє слаборозвиненою кореневою системою й у перший період росту погано засвоює важкорозчинні живильні речовини із ґрунту. Це обумовлює підвищену чутливість картоплі на внесення добрив. Поглинання елементів харчування картоплею відбувається протягом усього вегетаційного

періоду, більше швидкими темпами споживання живильних речовин мають ранні сорти. Найбільша кількість живильних речовин поглинається скоростиглими сортами картоплі під час бутонізації й цвітіння, а середньо- і пізньостиглими - у період інтенсивного зростання бадилля й початку бульбоутворення. Достатнє постачання рослин всіма основними елементами харчування в цей період має виняткове значення для формування врожаю. надлишкове, особливо однобічне, харчування азотом викликає стовбуріння в бадиллі й затримує бульбоутворення. Для утворення бульб використовуються живильні речовини, які надходять у цей період із ґрунту й добрива, так і раніше накопичені в бадиллі. Внаслідок реутилізації живильних речовин до моменту збирання картоплі в бульбах утримується близько 80 % азоту, 90 % фосфору й практично весь калій.

Ефективність добрив залежить від ґрунтово-кліматичних умов, рівня агротехніки й сорту картоплі.

Перше місце по ефективності на дерено-підзолистих ґрунтах, опідзолених і вилужених чорноземах займають азотні добрива. Фосфор на цих ґрунтах нерідко діє сильніше, ніж калій.

На звичайних і потужних чорноземах часто на першому місці по ефективності стоїть фосфор, па другому - азот. Незважаючи на велике споживання картоплею калію, ефективність калійних добрив на більшості ґрунтів слабкіше, ніж азотних, а часто й фосфорних добрив. Потреба в калії збільшується при внесенні високих норм азоту й фосфору. У той же час на заплавлених і торф'яних ґрунтах калійні добрива по ефективності займають перше, на піщаних й супіщаних дерено-підзолистих ґрунтах - друге місце після азотних. На цих ґрунтах необхідно вносити більш високі норми калійних добрив навіть при застосуванні гною.

Картопля добре відзивається на внесення гною на всіх ґрунтах, але найбільш високого збільшення врожаю від гною одержують на дерено-підзолистих ґрунтах, особливо піщаних і супіщаних. На потужних чорноземах південних і південно-східних.

Середня норма гною під картоплю на дерено-підзолистих ґрунтах - 30-40 т на 1 га, на чорноземах - 15-20 т на 1 га. Поряд із гноєм під картоплю можна вносити торф'янонавозні, торфожіжевіє, торфофекальні й інші компости.

Найбільш високі збільшення врожаю картоплі одержують при спільному внесенні гною або компостів з мінералами, насамперед з азотними й азотно-фосфорними добривами.

На тлі високих норм гною (30-40 т і більше на 1 га) на добре окультурених ґрунтах можна обмежитися внесенням тільки азотних або азотно-фосфорних добрив. Якщо гній під картоплю не вносять, то необхідно застосовувати повне мінеральне добриво в підвищених кількостях .

Ранні сорти картоплі характеризуються більше інтенсивним споживанням живильних речовин і сильніше реагують на добриво. Тому норми мінеральних добрив на тлі гною повинні бути вище під ранні, чим під пізні, сорти картоплі. При цьому особливо важливо вибрати правильне співвідношення між окремими видами добрив. Для одержання ранньої товарної продукції необхідний більше високий рівень фосфорного харчування рослин.

Гній й інші органічні добрива, фосфорні й калійні мінеральні добрива найкраще вносити з осені під зяблеву оранку. Тільки на легких ґрунтах у районах достатнього зволоження весняне внесення добрив дає кращі результати, чим осіннє, що порозумівається вимиванням калію із ґрунту.

Азотні добрива доцільно вносити навесні під переорювання зябу або передпосівну культивуацію. Амонійні й аміачні форми добрив можна застосовувати також з осені.

Велике значення для забезпечення більш сприятливих умов харчування в початковий період росту має локальне внесення добрив у лунки при посадці картоплі. При посадці в гнізда вносять гранульований суперфосфат й аміачну селітру, а також складного й комплексного добрива з розрахунку 20-30 кг буд. в. NPK на 1 га.

На піщаних і супіщаних ґрунтах частина азоту й калію ($1/4$ - $1/3$ загальної норми) доцільно перенести в підгодівлю. На інших ґрунтах перенесення частини добрив з основного в підгодівлю, як показують досвіди, викликає зниження ефективності. Тому вносити добрива в підгодівлю картоплі треба тільки, якщо вони не застосовувалися в достатній кількості до посіву. Для підгодівлі картоплі можна використати місцеві добрива - гнойову рідоту (5-10 т на 1 га), пташиний послід (5-8 ц на 1 га), які вносять із негайним закладенням у ґрунт при розпушуванні міжрядь.

Під картоплю рівною мірою застосовують всі форми промислових азотних добрив. На кислих ґрунтах поряд із суперфосфатом як основне добриво можна застосовувати фосфоритне борошно (у полуторних або подвоєних дозах у порівнянні із суперфосфатом), а також інші фосфорні добрива. По своїй дії на врожай картоплі сульфатні й хлористі форми калійних добрив, як при разовому, так і тривалому застосуванні в сівозміні практично рівноцінні. Однак хлористі форми калійних добрив можуть знижувати відносний зміст крохмалю в бульбах картоплі. Внесення хлорвмісних калійних добрив з осені значною мірою усуває шкідливу дію хлору на картоплю (у результаті вимивання хлору із ґрунту з опадами).

Під впливом фосфорних добрив відносний вміст крохмалю в бульбах може підвищуватися, а під впливом азотних - трохи знижуватися. Однак внаслідок збільшення врожаю картоплі при застосуванні добрив валовий збір крохмалю з одиниці площі завжди зростає [2].

2.5 Сорти картоплі

Під сортом картоплі розуміють нащадків особини чи клону, які розмножуються вегетативно і здатні на великих площах відтворювати свої властивості, зберігаючи протягом репродукцій характерні для них морфологічні ознаки. При селекційній роботі беруться до уваги всі ознаки,

обов'язкові для всіх сортів: висока врожайність, округла або округло-овальна форма бульб, поверхневі або дрібні вічка (для кормових сортів допускаються середньо глибокі і глибокі), стійкість до раку, відносна стійкість до фітофторозу, бактеріальних гнилей, парші та вірусних хвороб, стабільна хороша якість під час зберігання, придатність для індустріального вирощування. Крім цього, селекція може проводитися і за додатковими ознаками (підвищений вміст білка і крохмалю, стійкість до засухи тощо).

Користуються різними методами статевої гібридизації: внутривидовою – в межах одного виду і міжвидовою – схрещуванням двох, трьох і більше видів, гібридів. На сьогодні у селекції картоплі застосовують такі способи одержання вихідного матеріалу, як поліплоїдія, гаплоїдія, експериментальний мутагенез та інцухт з наступним схрещуванням. У вирішенні складних проблем селекції поряд з ними методами одержання вихідного матеріалу для створення нових сортів перспективне застосування клітинної селекції, гібридизації соматичних клітин.

В останні роки розробляються методи генної інженерії з метою введення у високопродуктивні генотипи окремих цінних генів, що підвищують стійкість до хвороб та інші цінні властивості й ознаки. В західних районах України селекційна робота по картоплі почала інтенсивно розвиватися лише після Великої Вітчизняної війни – спочатку у Львівському сільськогосподарському інституті, а пізніше в Науково-дослідному інституті землеробства і тваринництва західних районів України.

У гірських районах Карпат були виявлені ендемічні форми картоплі, стійкі проти фітофторозу, і вивчені їх генетичні особливості. Шляхом самозапилення ендемічної форми картоплі виведено унікальний високопродуктивний, з 24%-ним вмістом крохмалю в бульбах, фітофторостійкий сорт картоплі Карпатська, який широко використовується в селекції як «донор» комплексу господарськоцінних ознак. Сорт Карпатська і виведені з його участю сорти Мавка та Полонина внесені в список сортів з високою комбінаційною здатністю, екологічною пластичністю.

У практичному картоплярстві всі існуючі сорти класифікуються за строками дозрівання, або тривалістю вегетаційного періоду, і господарським призначенням.

За строком дозрівання виділяють сорти:

- ранні – дозрівають за 50-60 днів, виключно столові для літнього використання;
- середньоранні – за 60-80 днів, виключно столові для літнього й осінньо-зимового використання;
- середньостиглі – за 80-100 днів, переважно столові;
- середньопізні – за 100-120 днів, різного призначення;
- пізні – понад 120 днів, переважно універсальні й технічні.

За господарським призначенням розрізняють сорти:

- столові – мають хороший смак, нетемніючий м'якуш, хорошу форму бульб з дрібними вічками;
- технічні – відзначаються підвищеним вмістом крохмалю (20-25%) і високим урожаєм з одиниці площі, використовуються для заводської переробки;
- столово-технічні – характеризуються підвищеним вмістом крохмалю, хорошим смаком, нетемніючим м'якушем, використовуються для харчування та переробці;
- кормові – містять підвищену кількість білка і сухих речовин, високоврожайні, йдуть на корм худобі;
- універсальні – високоврожайні, з хорошим смаком, нетемніючим м'якушем, високим вмістом крохмалю і білка, використовуються для їжі, переробки, на корм тваринам;
- столово-заводські – для виготовлення напівфабрикатів (чіпсів, крекерів тощо) – мають підвищений вміст сухих речовин, нетемніючий м'якуш, низький вміст редукуючих цукрів і короткий період ресинтезу крохмалю

На ділянці необхідно вирощувати декілька сортів картоплі різних груп стиглості. Вирощувати треба тільки ті сорти картоплі, які внесені до Державного Реєстру сортів рослин України.

Для вирощування необхідно підбирати тільки ракостійкі і нематодостійкі сорти картоплі.

До ранніх стійких сортів картоплі відносяться Повінь, Дніпрянка і Поран. Це двохврожайні культури на півдні України.

З середньоранніх сортів високу врожайність і добру якість забезпечують: Забава, Левада, Обрій, Доброчин та ін. Високу врожайність у поєднанні з іншими цінними ознаками забезпечують середньостиглі сорти картоплі Лілія, Слов'янка, Явір та ін.

Середньопізні сорти картоплі Червона рута і Тетерів можуть давати врожай 350 - 450 ц/га. Стійкі до фітофтори і нематоди.

При вирощуванні в різних ґрунтово-кліматичних зонах картопля під впливом високих температур, вірусної інфекції та інших умов схильна до виродження. Найменше виродження картоплі спостерігається на Поліссі (5 - 7 років), у лісостеповій зоні (3 - 5 років). На півдні України спостерігається сильне виродження картоплі (1-3 роки).

На ділянці під час вегетації картоплі слід провести видалення хворих кущів, уражених чорною ніжкою (стебла чорніють знизу і легко висмикуються з ґрунту), кільцевою гниллю (стебла в'януть і звисають), крапчастою, зморшкуватою і смугастою мозаїками (листя стають зморшкуватими), скручуванням листя. Насіннєві якості бульб покращують раннє збирання (на початку відмирання нижніх листків) за 10-12 днів необхідно попередньо скосити бадилля. Зібрані на насіння бульби необхідно просушити на розсіяному світлі або озеленити на протязі 10-12 днів, перебрати і зберігати в льосі в ящиках, контейнерах або іншій тарі.

Рекомендується проводити кущовий відбір здорових кущів. Для цього в період бутонізації та цвітіння треба відзначити кілочками найбільш розвинені і здорові кущі. При збиранні ці кущі викопують і бульби

відбирають. Відібраний матеріал необхідно просушити, можна озеленити на розсіяному світлі протягом 10-12 днів і закласти на зберігання.

На півдні України бажано використовувати насіннєвий матеріал від літніх посадок, що дозволить продовжити період ефективного використання придбаного для сортооновлення посадкового матеріалу різних сортів картоплі та підвищити врожайність.

Верховина – сорт ранньостиглий столово-технічний. одержаний схрещуванням Карпатської і Приєкульської ранньої. Квітки білі; бульби овальні, білі, вічка дрібні. М'якуш білий, при варінні не темніє. Вміст крохмалю підвищений, смакові якості хороші, зберігається добре. Стійкий до раку, відносно стійкий до фітофторозу.

Половецька – середньопізній столовий сорт. Виведений схрещуванням сортів Амарин і Сафір. Квітки середні. Забарвлення віночка червоно-фіолетове з білими кінчиками. Цвіте рясно, утворює багато ягід. Бульби округлі, жовті, вічка середньоглибокі, шкірка сітчаста. М'якуш жовтий, на зрізі не темніє. Смак хороший. Сорт врожайний, з підвищеним вмістом крохмалю. Зберігається добре. Стійкий до звичайної і міжгірської рас раку. Середньо уражується фітофторозом.

Воротинська рання – ранньостиглий столовий сорт. Виведений на Калузькій державній сільськогосподарській дослідній станції шляхом схрещування сортів Приєкульська рання і Фаленська. Квітки білі. Бульби округло-овальні, білі, вічка неглибокі; шкірка гладенька. М'якуш білий, на зрізі не темніє. Врожайність підвищена, вміст крохмалю середній. Смакові якості задовільні. Зберігається добре. Стійкий до раку, відносно стійкий до парші звичайної, але уражується фітофторозом.

Гатчинська – середньостиглий столовий сорт. Одержаний в Північно-західному НДІ сільського господарства схрещуванням гібрида 382-42 з Приєкульською ранньою. Квітки червоно-фіолетові. Бульби білі, округлі, вічка поверхневі, шкірка сітчаста. М'якуш білий, на зрізі не темніє. Сорт врожайний, із середнім вмістом крохмалю. Столові якості добрі й середні.

Зберігається добре. Стійкий до раку, чорної ніжки. Макроспоріозом і паршею уражується слабо, фітофторозом – сильно.

Гібридна 14 – середньопізній столовий сорт. Складний гібрид від схрещування диких видів картоплі з сортами Приєкульська рання, Кур'єр, Фрюгольд, Катадін, Штеркерагіс, Едельгард. Одержаний у Львівському сільськогосподарському інституті. Квітки білі. Бульби білі, округлі, вирівняні, з тупою вершиною і плоским стонним слідом. Вічка дрібні; шкірка злущується. М'якуш білий. Високоврожайний сорт з середнім вмістом крохмалю. Смакові якості середні. Бульби зберігаються добре. Стійкий до раку, фітофторозу, вірусних хвороб.

Древлянка – пізньостиглий столовий сорт. Виведений запиленням сорту Перлина сумішню пилку чотирьох сортів. Кущ прямостоячий, високий. Цвітіння рясне, тривале. ушиття компактне, малоквіткове. Квітки червоно-фіолетові з білими кінчиками. Ягоди утворюються зрідка. Бульби червоні, овальні. Шкірка сітчаста. Вічка поверхневі, малочислені. М'якуш ясно-коричневий, при розрізі не темніє, врожайний. Вміст крохмалю середній. Зберігається добре. Стійкий до раку, фітофторозом уражується середньо.

Іскра – ранньостиглий столовий сорт. Квітки білі. Бульби білі, округлі, з дрібними поверхневими вічками. Сорт врожайний. Крохмалистість від низької до підвищені; вміст білка підвищений. Смакові якості хороші, зберігається добре. Стійкий до раку, але уражується фітофторозом.

Львів'янка – середньоранній столовий сорт. Виведений схрещуванням сорту Олев із сіянцем 6-1671. Суцвіття компактне, багатоквіткове. Квітки червоно-фіолетові, з білими кінчиками. Цвітіння рясне і тривале. Ягоди утворює рідко. Бульби білі, опальні, вічка поверхневі, нечисленні, шкірка гладенька. М'якуш білий, на зрізі не темніє. Високоврожайний. Зберігається добре. Стійкий до раку і відносно стійкий до фітофторозу.

3. СУЧАСНИЙ СТАН МОДЕЛЮВАННЯ Й ПРОГНОЗУВАННЯ ВРОЖАЮ КАРТОПЛІ

Фактори зовнішнього середовища діють на інтенсивність фізіологічних процесів, що протікають у рослині. Моделюється ефект цього впливу, взаємозв'язок між окремими процесами на стан рослинного покриву. Моделювання формування врожаю картоплі містить кількісний опис процесів фотосинтезу, перетікання запасних живильних речовин з материнської бульби, дихання, росту й розвитку. Розглядається, що рослина складається з п'яти узагальнених органів - листа, стебла, кореня, бульби, що росте й материнської бульби.

Інтенсивність фотосинтезу кожного з фотосинтезуючих органів (листіків і стебел) описується з урахуванням впливу на фотосинтез фази розвитку рослини, інтенсивності ФАР, концентрації CO_2 , температурного режиму у світлий час доби й вологозабезпеченості посадок, а також забезпеченості рослин елементами мінерального харчування. Перетікання запасних речовин з материнської бульби в молодшу рослину розглядається пропорційним запасам речовини в материнській бульбі. Поряд з перетоком вуглеводів з материнської бульби, особливістю рослини картоплі є також темнова фіксація CO_2 , що грає досить істотну роль у вуглеводному балансі. Інтенсивність темної фіксації змінюється в онтогенезі. На ранніх фазах розвитку нічна фіксація CO_2 може становити 15-20% фотосинтезу о півдні.

Динаміка біомаси описується ростовими рівняннями. Дихання ураховується через витрати на дихання росту й дихання підтримки.

При формуванні врожаю картоплі його зниження найбільше часто відбувається під впливом погодних умов, а також через вплив хвороб і шкідників.

3.1 Моделювання процесів формування врожаю картоплі

Розробка динамічних моделей продуктивності сільськогосподарських культур дозволяє досліджувати вплив агрометеорологічних умов на найважливіші процеси життєдіяльності рослин, пояснити цілий ряд особливостей впливу цих умов на продуктивність рослин, вивчити адаптивні реакції на зміну умов зовнішньої. Ці моделі можуть розглядатися як основу для розробки методів агрометеорологічних розрахунків і прогнозів.

Відомо багато динамічних моделей продуктивності різних сільськогосподарських культур, які дозволяють оцінити ріст рослини протягом вегетаційного періоду як результуючу основних фізіологічних процесів. Розроблено динамічні моделі продукційного процесу картоплі. Важливі роботи з динаміки формування врожаю картоплі залежно від агрометеорологічних умов, що не втратили свого значення дотепер, виконані А.Г. Лорхом [10,11].

У роботі А.М. Польового запропонована динамічна модель продукційного процесу картоплі для оцінки агрометеорологічних умов формування врожаю картоплі. Модель дозволяє розрахувати динаміку формування врожаю, впливу на цей процес основних факторів зовнішнього середовища. Для розрахунку біомаси картоплі запропонована система рівнянь, що описує динаміку біомаси всіх органів рослини, площі листової поверхні. Видимий фотосинтез розраховується залежно від ФАР. У цій моделі враховується також роль материнської бульби. Органічна речовина бульби є не тільки будівельним матеріалом для створення молодих органів рослини - коріння, стебла і листків, але й джерелом енергії, необхідної для перетворення речовин і процесів росту. Особливістю цієї моделі є облік середньодобових значень основних екофакторів, з яких враховуються водний режим ґрунту, радіаційний і тепловий режими, а також ушкодження рослин інфекцією. Рівень мінерального харчування в розрахунках приймається оптимальним [24].

Більшу динамічну модель продукційного процесу картоплі (РОТАТО) імітаційного типу розробили Нджи й Луміс. У модель включені всі основні відомості по фізіології картоплі, у результаті чого вона вийшла досить громіздкої. Власне розробка моделі РОТАТО велася з наступними цілями: 1) вивчення закономірностей фізіології рослин; 2) аналіз впливу клімату на врожай; 3) оцінка впливу генотипу на продукційний процес; 4) розробка стратегії керування врожаєм. Автори справедливо вважають важким і навіть неможливим досягти цих цілей тільки шляхом експериментальних досліджень, і моделювання із цього погляду є пізнавальним інструментом.

Модель РОТАТО має ієрархічну структуру. Процеси і їхні параметри включаються в модель на рівні ценозу, рослини й окремого органа. Ураховуються зворотні зв'язки між окремими організаційними рівнями. Зроблено ряд допущень, які зменшують можливості моделі. Вологість ґрунту й мінеральне харчування вважаються не лімітуючими. Досить приблизно враховується сонячна радіація при розрахунку фотосинтезу. При розрахунку фотосинтезу враховується концентрація фонду асимілятів, причому вважається, що інтенсивність фотосинтезу підвищується після початку формування бульб. На цьому рівні використовується світлова крива фотосинтезу з більше високим плато.

Розрахунок росту моделлю РОТАТО починається з появи паростків із ґрунту. У цей час рослини використовують резерви з материнської бульби. Надалі залежно від віку використовуються експериментальні криві росту головного стебла й стеблових вузлів, листків і бульб.

Модель ураховує вплив температури на ріст. Для стеблових вузлів і листків використовуються однакові криві, згідно з якими ріст цих органів починається з температури 4 °C, має максимум при температурі між 20-28°C и починаючи з температури 28°C різко сповільнюється.

У модель включена також залежність росту окремих органів від фонду асимілятів. Літературні дані показують, що пріоритет використання асимілятів відбиває близькість того або іншого органа до джерела асимілятів

- листкам. Ріст органів виражається у формі лінійних залежностей від стану фонду асимілятів. Ефект впливу фонду асимілятів починає проявлятися тоді, коли на запас залишається 3% загальної сухої біомаси рослин і досягає максимуму при фонді 6%. Вплив на ріст бульб починається й набуває максимуму при фонді у два рази більшому. Вплив вмісту води в рослинах на ріст ураховується лінійною емпіричною залежністю.

Вміст вуглеводів у фонді асимілятів розраховується як різниця між фотосинтезом і диханням шляхом включення притоку речовин із старіючих органів. За аналогією із загальноприйнятою схемою дихання визначається як сума дихання росту й підтримки. При цьому коефіцієнт витрат на дихання росту для листків дорівнює 0,4 г/г, для стебел, коріння, бульб -0,3 г/г. Для дорослих листків коефіцієнт витрат на дихання підтримки при 25⁰С становить 0,0017 г/(г-ч).

Проведено аналіз чутливості моделі, що дозволяє виявити її недоліки й знайти шляхи вдосконалювання. У ході досліджень мінялися вхідні параметри 6 груп: 1) потенційних швидкостей появи органів; 2) метеорологічних факторів; 3) коефіцієнт витрат на дихання росту; 4) коефіцієнт витрат на дихання підтримки; 5) питомої площі листків; 6) густоти посіву й пов'язаних з нею показників. Результати виконаних чисельних експериментів показують, що модель найбільш чутлива до параметрів першої, шостий, а також п'ятої груп факторів. Проміжною чутливістю володіє модель щодо групи метеорологічних факторів, невеликою чутливістю - щодо коефіцієнтів дихання. Звертає на себе увагу порівняно висока чутливість моделі щодо питомої площі листків.

Основним призначенням розглянутої моделі вважається розвиток фізіології рослин.

Використання моделі РОТАТО в агрометеорології й агрономії, особливо в наших умовах, пов'язане з труднощами й вимагає адаптації, у першу чергу тому, що параметри моделі ставляться до південних сортів, а

сама модель орієнтована на використання при зрошенні, коли запаси вологи в ґрунті не лімітують фізіологічні процеси.

За основу моделі Рийтема-Ендроті прийнята модель де Віта яка адаптована для розрахунку приросту бульб картоплі в умовах, коли запаси води в ґрунті лімітовані. У цій моделі приріст біомаси визначається по наступній формулі:

$$\Delta m = \frac{0.5 + 4.4}{r_a + r_s + 4.4} S_c \Delta M_{\text{пот}}, \quad (3.1.1)$$

де $\Delta M_{\text{пот}}$ - потенційний приріст сухої біомаси, г/см²;

0,5 й 4,4 с/см – значення дифузійного опору прикордонного шару r_a й опір мезофіла листків r_m в оптимальних умовах;

r_a й r_s – фактичні значення опору дифузії CO₂ прикордонних шарів й поверхні посіву в умовах водного дефіциту, с/см;

S_c – ступінь покриття поверхні ґрунту рослинами;

C – коефіцієнт, що редукує біомасу, , що враховує дихання, вважається рівним 0,68.

Розрахунок урожаю картоплі добре узгоджується з фактичним приростами й кінцевим урожаєм.

Модель А. М. Польового [24], як й інші, є динамічною. Інтенсивність фотосинтезу розглядається по формулі:

$$\Phi = \frac{a\Pi}{1 + B\Pi}, \quad (3.1.2)$$

де a , b - параметри, що характеризують вид світлової кривої фотосинтезу;

Π - поглинена листками ФАР.

Інтенсивність дихання розраховується по формулі:

$$K = c_1 M + c_2 \Phi, \quad (3.1.3)$$

де c_1 – коефіцієнт витрат на дихання підтримки;

c_2 – коефіцієнт витрат на дихання росту.

У моделі враховується онтогенетична крива зміни фотосинтезу й дихання. При розрахунках інтенсивність фотосинтезу й дихання множиться на коефіцієнти, що відображають вплив температури повітря й вологості ґрунту, що змінюються в межах від 0 до 1.

При розрахунку перетоку запасних речовин з материнського в органи молодшої рослини визначається по формулі:

$$P = \chi \cdot M_c, \quad (3.1.4)$$

де P – швидкість перетоку вуглеводів з материнської бульби, г/(м²сут);

χ - коефіцієнт, що характеризує швидкість перетока, сут⁻¹;

M_c – запаси живильних речовин материнської бульби, г/м².

У моделі також враховується темнова фіксація CO₂, що може становити 15-20% фотосинтезу о півдні. Інтенсивність гетеротрофної фіксації приймається пропорційної фотосинтезу з урахуванням впливу температури повітря в темний час доби, тобто:

$$D = \varepsilon \omega \Phi \tau \psi_0, \quad (3.1.5)$$

де D – інтенсивність гетеротрофної фіксації CO₂, г/(дм²ч);

ω - безрозмірний коефіцієнт, співвідношення фотосинтетичної й темнкової фіксації в онтогенезі;

ψ_0 - безрозмірна температурна крива нічної фіксації CO₂.

Модель розроблена з метою прогнозу врожайності картоплі й забезпечена програмою для ЕОМ.

Модель Фішмана одна з моделей продукційного процесу картоплі, запропонована для аридних зон. Модель створена на рівні окремої рослини, складається із системи диференціальних рівнянь росту й заснована на

концепції фонду асимілятів. Уважається, що фонд пропорційний сухій біомасі, створеної в результаті фотосинтезу. Ураховується також будова рослин.

Параметри моделі автори визначають загальноприйнятим шляхом калібрування або ідентифікації за експериментальним даними. Отримані розрахункові криві біомаси окремих органів добре узгоджується з дослідними даними.

Автори не обмежилися створенням моделі на рівні окремої рослини. Вони будують модель із прикладною метою, щоб мати можливість прогнозувати ріст і врожайність у різних агрометеорологічних умовах при різній агротехніці. Варто погодитися з позицією авторів, що модель прикладного характеру повинна враховувати функціональні процеси в рослинах й умови зовнішнього середовища, але вона повинна бути не занадто складної для використання.

У моделі Інграма й Мак Клоуда урожай бульб визначається наступним вираженням:

$$Y = \int_{\tau_0}^{\tau_K} a_K F_{II} dt, \quad (3.1.6)$$

де Y – урожай сухої маси бульб, г/м²;

τ_K - день припинення росту бульб;

τ_0 - початок бульбоутворення;

a_K – частка F_{II} вхідна в бульби;

F_{II} – швидкість нетто-асиміляції, г/(м²сут).

Вхідними факторами моделі є середні денні температури повітря, температури ґрунту на глибині 10 см, щільність потоку сонячної радіації.

При розрахунку інтенсивності фотосинтезу F_{II} вважається, що крім інтенсивності ФАР і температури повітря, вона також у значній мірі залежить від швидкості росту бульб як основних споживачів асимілятів. Так, у фазі

росту бульб фотосинтез на основі експериментальних даних вважається в 2 рази вище, ніж у період до появи бульб.

Приріст бульб у фазі їхньої появи розраховується по формулі:

$$\Delta m_4 = m_4 R, \quad (3.1.7)$$

де Δm_4 - швидкість росту бульб, г/(м²сут);

m_4 - суха маса бульб, г/м²;

R – відносна швидкість росту бульб, г/(г·сут), причому R залежить від температури.

Крім описаних основних, відомий також ряд більше простих моделей, які мають великий крок розрахунку (місяць або більше) і побудовані для рішення конкретних прикладних завдань рослинництва або меліорації.

Зокрема, становить інтерес модель для оцінки необхідності осушення або зрошення полів, у тому числі під картоплею, запропонована В.В. Шабановим. Модель приростів просапних сільськогосподарських культур була розроблена П. І. Закржевским у Білорусії. Модель була використана для з'ясування впливу водного режиму (рівнів ґрунтових вод, вологості ґрунту) на врожай цукрового буряка й картоплі вирощуваних на торф'яних ґрунтах осушених боліт.

У роботі Х.Г. Тоомінга й П.Х. Кийва на основі польових експериментальних даних запропонована проста модель для розрахунку врожаю картоплі залежно від сум евапотранспірації. Уперше в цій роботі дається крива забезпеченості врожайності картоплі в різних погодних умовах.

Голландськими дослідниками створена модель SWACRO, призначена для розрахунку водного балансу ґрунту й продукції бульб картоплі. Модель дозволяє розраховувати фактичний приріст через максимально можливий приріст і значення метеорологічних елементів. Максимальний приріст бульб у ґрунті, добре забезпечений добривами й водою, розраховується як різниця

фотосинтезу й дихання. Ураховується фотосинтез стандартного посіву, тобто посіву з листовим індексом, рівним $L=5 \text{ м}^2/\text{м}^2$.

Розрахунок дійсного приросту проводиться через максимально можливий з урахуванням транспірації, дефіциту парціального тиску водяної пари в повітрі й максимальній ефективності використання води. З метеорологічних даних у модель входять денні суми опадів і радіації (або тривалість сонячного сяйва), а також температура повітря, відносна вологість і швидкість вітру. Модель SWACRO дозволяє визначати оптимальну дату посадки, строки й норми зрошення посівів картоплі. За допомогою цієї ж моделі докладно досліджений вплив на врожайність типу ґрунту, її ущільнення й осушення.

Хотілося б підкреслити, що при оцінці моделей головним фактором є не ступінь складності й кількість параметрів, включених у розгляд, а ступінь адекватності моделі для рішення поставленого завдання в конкретних умовах зовнішнього середовища. Адекватність нескладних моделей багато в чому залежить від знання автором досліджуваного об'єкта в контексті свого конкретного завдання.

Посів у моделі розглядається як функціонально диференційоване ціле, у якому виділене п'ять ємностей: листки, стебла, корінь, материнська бульба, бульба нового врожаю (l, s, r, c, R). Крок розрахунків за часом – доба. Добовий приріст біомаси кожного органа рослини визначається процесами росту G_p , дихання D_p , розпаду q_p й відпаду відмерлих тканин P_p :

$$dm_p / dt = G_p - D_p - q_p - P_p, \quad (3.1.8)$$

де m_p – маса p -го органа, $\text{мг}/\text{див}^2$; $p \in l, s, r, c, R$.

Під ростом у моделі розуміється новоутворення структурної маси й передбачається, що весь фонд, що сформувався за добу, вуглеводів перетвориться в структурну масу в процесі росту.

Для опису дихання використана двокомпонентна схема. Прийнято, що дихання складається з дихання росту, прямо пропорційного швидкості росту й дихання підтримки, обумовленого величиною вже сформованої маси органа, вологістю й температурою середовища:

$$D_p = R_g G_p + D_1 (-\psi_Q) + D_2 \theta_Q \varphi_Q, \quad (3.1.9)$$

де D_p – дихання p -го органа, мг/(мг·сут);

R_g – коефіцієнт дихання росту;

D_1, D_2 – коефіцієнти дихання підтримки, мг/(мг·сут);

$\psi_Q \varphi_Q$ - волога й температурна функції дихання.

Вплив режиму зволоження на утворення нових тканин рослини здійснюється через два канали: при недоліку вологи в ґрунті – через вустично-катикулярний опір потоку CO_2 , при надлишку – через коефіцієнт перезволоження.

Азотний режим впливає на фотосинтез і ріст у моделі через величину фотохімічного опору фотосинтезу.

У моделі А. Л. М. Ван Віка й Р.А. Федеса моделюється виростання бульб і поява сходів залежно від середньої температури ґрунту й мінімальної температури початку проростання бульб. Добова величина приросту сухої маси при оптимальному азотному харчуванні розраховується по вираженню:

$$\left(1 - \frac{q}{A \frac{T}{\Delta e}}\right) \left(1 - \frac{q}{q_{pot}}\right) = \xi, \quad (3.1.10)$$

де A – показник максимального споживання води, що визначається польовими експериментами;

T – дійсний рівень транспірації, що дозволяє визначити модель SWATRA;

Δe - дефіцит тиску водяної пари в повітрі;

q_{pot} – потенційний рівень росту, обчислений як показник радіації й площі листка;

ξ - математичний параметр, ($\xi = 0,01$).

У роботі [24] запропонована динамічна модель «погода-урожай», що знаходить все більше застосування для агрометеорологічних завдань. Передбачається, що не міняючи принципову схему моделі, її можна використати для оцінки агрометумов виростання різних сільськогосподарських культур, попередньо визначивши деякі невідомі параметри. У роботі визначалися параметри моделі «погода-урожай» для розрахунків урожаю картоплі. Треба відзначити, що модель для розрахунку врожаю картоплі на цій основі вже створена [24] для умов Нечорноземної зони Росії.

Необхідні для розрахунку врожаю параметри моделі одержують різними способами.

Частина вхідних у модель параметрів визначається безпосередньо для конкретного досвіду або виробничого посіву. До таких відносяться параметри, що характеризують час і місце розрахунку врожаю (широта місця, число днів від 21 березня до початку рахунку, агрогідрологічні константи й т.д.).

Але цілий ряд параметрів моделі може бути отриманий у цей час тільки на підставі експериментального матеріалу по конкретній культурі шляхом рішення або приватних завдань оптимізації, або завдань стохастичної ідентифікації параметрів із залученням всієї моделі.

У дослідженнях визначаються параметри (ростові функції органів рослин картоплі, перетоки асимілятів з різних органів у бульби, частка зеленої площі органів від загальної).

Робота В.В. Набоки ставить за мету визначити параметри динамічної моделі «погода-урожай» і пристосувати її для розрахунку кількісної оцінки агрометеорологічних умов формування врожаю картоплі в умовах Західного Сибіру.

Значення деяких параметрів узяті з літературних джерел або визначаються для конкретного розрахунку. Однак цілий ряд параметрів моделі може бути оцінений тільки на підставі експериментальних даних шляхом рішення завдань оптимізації.

Остання група параметрів включає: 1) параметри біологічних функцій (ростові функції органів рослин, функції втрат, функції пожовтіння листків, функції розподілу коріння, функції потоку «материнський бульба-наземна частина рослини»); 2) параметри блоку розрахунку вологості ґрунту (константи z_r й q_r для розрахунку функції розподілу коріння по шарах ґрунту, кардинальне значення гідравлічної провідності насиченого ґрунту K_o , коефіцієнт, що визначає ефективну зволоженість ґрунту при рясних опадах AW); 3) параметри, відповідальні за розрахунок фотосинтезу (кут нахилу світлової кривої фотосинтезу α , константа для розрахунку вустичного опору потоку CO_2).

За допомогою моделі BACROS можна визначити рівень росту й розвитку сухих речовин у врожаї при оптимальних запасах води й живильних речовин без обліку бур'янів, а також шкідників і хвороб.

Було проведено детальне вивчення процесів фотосинтетичної продуктивності, які в наслідку були представлені схематично.

Розрахунок показників фотосинтетичної продуктивності був досягнутий за допомогою показників сонячної радіації, площі листків й їхніх оптичних властивостей.

Для розрахунку дихання були використані наступні показники: біомаса, фенологія й хімічний склад, поточна швидкість росту й температура рослин.

Транспірація визначається за допомогою методу теплового балансу рослин. Розглядається, що ріст залежить від поточної забезпеченості асимілятами їхніх резервів і температури.

Модель ROTATO має аналоги в природі й характеризується високим рівнем фізіологічної й морфологічної деталізації.

У моделі враховується ріст і розвиток всіх головних органів рослини при оптимальному запасі води й живильних речовин без обліку бур'янів, шкідників і хвороб.

Часовий крок моделі - година.

Клімат ґрунту й рослини описуються вхідною інформацією. Транспірація й вологість ґрунту визначаються через зміни вмісту води в рослині.

Швидкість зміни асимілятів у рослині розраховується через фотосинтез, дихання і швидкість росту органів і швидкість мобілізації з відповідних органів: приріст сухої речовини розподілений між коріннями, листками й іншими органами як функція фенологічного розвитку рослин.

3.2 Продукційний процес рослин (ППР)

Продукційний процес рослин (ППР) - це сукупність окремих взаємопов'язаних процесів, з яких фундаментальними є фотосинтез, дихання і ріст, у ході яких відбувається формування врожаю. ППР залежить від умов зовнішнього середовища й сам перетворює середовище, в основному через архітектоніку, газообмін і транспірацію фітоценозу.

Рослини, поглинаючи листками з атмосфери CO_2 і кореневою системою воду із ґрунту, створюють у процесі фотосинтезу під впливом енергії сонячної радіації органічна речовина у вигляді асимілятів. Одночасно відбувається транспірація, що відповідальна за постачання рослин водою й елементами мінерального харчування й за регуляцію теплового режиму рослин. Залежно від інтенсивності ФАР, водного й температурного режиму, швидкості вітру, концентрації CO_2 у повітрі, родючості ґрунту й видових особливостей рослин процес фотосинтезу може йти з більшою або меншою швидкістю.

Другий фундаментальний процес - дихання забезпечує постачання енергією різних біохімічних процеси синтезу, пов'язаних з ростом, побудовою нових структурних елементів рослин і із транспортом речовин, а також підтримка живих структур органів рослин. При цьому затрачається органічна речовина, накопичена в органах рослин.

Третій фундаментальний процес – ріст. Фотосинтез і ріст розглядається як сполучені процеси. Енергетичне забезпечення ростових функцій з боку фотосинтезу є неодмінною умовою росту. Система донорно-акцепторних відносин є основним проявом інтеграції фотосинтезу й росту на рівні цілого організму. Між донором й акцептором формуються тимчасові проміжні фонди асимілятів. Фонди можуть перебувати в кожному органі, але більше мобільні з них, імовірно, перебувають у листках і стеблах. Асиміляти, запасені на більш тривалий період, здебільшого накопичуються в коріннях. В умовах екологічного стресу, коли придушується фотосинтез, величина фондів стає істотним фактором формування врожаю.

Фонди забезпечують часткову автономність функції фотосинтезу й росту. Можливий обмежений ріст без фотосинтезу за умови, що енергетичне постачання відбувається за рахунок запасних субстратів попереднього фотосинтезу. Таким шляхом ростуть проростки, пагони й листки із бруньок дерев. Так відбувається ріст у нічні години й т.д. Налив зерна в зернових культурах і формування бульб у картоплі здійснюється також не тільки за рахунок «свіжих» асимілятів, що утворюються в листках, але й шляхом використання фондів асимілятів. Сучасні експериментальні й теоретичні дослідження Х.А. Молдау (1985), Х.М. Торнли (1982) і ін. дозволили розширити наші знання про добову й онтогенетичної динаміки фондів [30].

Ріст - це складова частина продукційного процесу, що супроводжується збільшенням маси й розмірів органів, органел і живого організму в цілому.

Найбільш елементарний показник росту фітомаси - це приріст, тобто різниця між сухою фітомасою за певний проміжок часу:

$$\Delta M = M_2 - M_1$$

Приріст сухої фітомаси не є вичерпною характеристикою при оцінці росту органів рослин, тому що не враховує хімічний склад фітомаси. Приріст сухої маси відбувається за якийсь часовий інтервал Δt , тому вживається поняття абсолютної швидкості росту:

$$\Delta M / \Delta t = (M_2 - M_1) / (t_2 - t_1) \quad (3.2.1)$$

і відносного приросту:

$$R_r = (M_2 - M_1) / [\bar{M} (t_2 - t_1)] \quad (3.2.2)$$

де $\bar{M}$ - середня суха маса рослини за період $t_2 - t_1$.

3.3 Моделювання основних складових продукційного процесу рослин

Інтенсивність фотосинтезу кожного з фотосинтезуючих органів (листіків і стебел) описується за допомогою формули з урахуванням впливу на фотосинтез фази розвитку рослин, температурного режиму й вологозабезпеченості посіву, а також забезпеченості рослин елементами мінерального харчування [24]:

$$\frac{\Delta \phi}{\Delta t} = \frac{1}{\frac{1}{\Phi_{pot}^i K_{NPK}} + \frac{1}{a_c c_0} + \frac{1}{a_\phi^i n^i}} \min \left\{ a_\phi^i, \psi_\phi^i, \frac{E^j}{E_0^j} \right\}, \quad (3.3.1)$$

де $\frac{\Delta \phi}{\Delta t}$ - інтенсивність фотосинтезу;

Φ_{pot} - інтенсивність потенційного фотосинтезу;

C_o - концентрація CO_2 у повітрі;

a_ϕ - нахил світлової кривої фотосинтезу;

Π - поглинена і-м органом фотосинтетично активна радіація;

α_ϕ - онтогенетична крива фотосинтезу;

ψ_ϕ - температурна крива фотосинтезу;

E - сумарне випаровування;

E_o - випаровуваність;

J - часовий крок моделі;

K_{NPK} - коефіцієнт забезпеченості рослин елементами мінерального харчування, що розраховується за допомогою принципу Лібіха з розрахунком функцій забезпеченості азотом (N), фосфором (P) і калієм (K):

$$K_{NPK} = \min K_N, K_P, K_K, \quad (3.3.2)$$

Температурна крива фотосинтезу апроксимована, згідно [2], вираженням:

$$T_d^j = 0.2 \frac{T_d^j - T_{do}}{T_{dopt} - T_{do}} \left[6 - \left(\frac{T_d^j - T_{do}}{T_{dopt} - T_{do}} \right) \right], \quad (3.3.3)$$

де T_d - середньоденна температура повітря, $^{\circ}C$;

T_{do} і T_{opt} – відповідно гранична й оптимальна температура повітря для фотосинтезу, $^{\circ}C$.

У динамічних моделях продукційного процесу рослин зміни інтенсивності фотосинтезу в онтогенезі не враховувалися або враховувалися через емпіричні коефіцієнти. Фотосинтетична активність листків різна на різних етапах онтогенезу окремого листка й рослини в цілому.

Фотосинтетичний апарат у молодих листків, що формуються, будь-якого ярусу сформований ще не повністю й не забезпечує високої інтенсивності фотосинтезу. Цією здатністю він володіє тільки в зрілих

функціонуючих листків. В онтогенезі цілої рослини найменшою інтенсивністю фотосинтезу володіють листки у фазі сходів, коли анатомічна структура не забезпечує оптимуму фотосинтетичної активності. Листки, які є фотосинтетично активними в більше пізні фази онтогенезу, відрізняються структурними й фізіологічними характеристиками, оптимальними для їхньої фотосинтетичної активності. Це листки середнього ярусу. Така різноякісність листків по ярусах визначається неодноразовістю їхньої появи й тим, що їхній розвиток пов'язаний з розвитком рослини в цілому.

Зміна фотосинтезу в онтогенезі враховано через функцію, що описує інтенсивність фотосинтезу i -го органа залежно від фізіологічного віку рослини. Ця функція названа «онтогенетичної кривої фотосинтезу».

$$\alpha_{\phi i}^j = \exp \left[-0.01 q_i \left(\sum T^j - \sum T_{1i} \right) \right], \quad (3.3.4)$$

у якому параметр q_i розраховується за формулою:

$$q_i = \frac{-100 \ln \alpha_{\phi i}^0}{\sum T_{1i}}, \quad (3.3.5)$$

де $\alpha_{\phi i}^0$ - характеризує початкову інтенсивність фотосинтезу стосовно максимального;

$\sum T_{1i}$ - сума ефективних температур, що накопичилася від сходів до настання фази розвитку рослин, у яку спостерігається максимальна інтенсивність фотосинтезу i -го органа, $^{\circ}\text{C}$.

Характерна особливість картоплі полягає в тому, що основна маса запасних речовин материнської бульби використовується рослиною в процесі вегетації й значно менша частка розходиться в період проростання. Таким чином, материнська бульба є додатковим джерелом вуглеводів для росту рослини, крім асиміляції CO_2 при фотосинтезі.

Перетікання запасних речовин в органи молодшої рослини в першому наближенні можна записати пропорційним запасам живильних речовин материнської бульби:

$$\Delta P^j / \Delta t = \chi^j m_q^j, \quad (3.3.6)$$

де $\Delta P^j / \Delta t$ - швидкість перетоку вуглеводів з материнської бульби;

χ - коефіцієнт, що характеризує швидкість перетоку;

m_q - запаси живильних речовин материнської бульби.

Розрахунок перетоку живильних речовин з материнської бульби в органи молодшої рослини ведеться по формулі (3.3.6). У цій формулі параметр χ характеризує швидкість перетоку. Апроксимуюче вираження для оцінки цього параметра як функції часу отримано за експериментальними даними:

$$\chi^j = \frac{0.035}{9 \cdot 10^{-3} \sum T^j + 1}, \quad (3.3.7)$$

Другою особливістю рослини картоплі є те, що темнова фіксація CO_2 грає досить істотну роль у вуглеводному балансі. Нефотосинтетична фіксація CO_2 властива не тільки картоплі, а практично всім рослинам, і питання про долю її участі в підтримці вуглецевого й енергетичного балансу рослини є спірним. На ранніх фазах розвитку нічна фіксація CO_2 може становити 15-20% фотосинтезу о півдні.

Інтенсивність гетеротрофної фіксації приймається пропорційною фотосинтезу з урахуванням впливу температури повітря в темний час доби:

$$\frac{\Delta S^j}{\Delta t} = \varepsilon \omega^j \frac{\Delta \phi^j}{\Delta t} \psi_s^j, \quad (3.3.8)$$

де $\Delta S / \Delta t$ - інтенсивність гетеротрофної фіксації CO_2 ;

ω - коефіцієнт, що характеризує співвідношення фотосинтетичної й темної фіксації в онтогенезі;

ψ_s - температурна крива нічної фіксації CO_2 .

Дихання росту розглядається пропорційним фотосинтезу посіву:

$$R_G^j = C_G \phi^j, \quad (3.3.9)$$

де R_G – інтенсивність дихання росту, $\text{м} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{сут}^{-1}$;

C_G – коефіцієнт, який характеризує витрати, пов'язані з ростом, безрозмірний.

Дихання підтримки структур пропорційно сухій біомасі посіву й залежить від температури й віку рослини:

$$R_m^j = C_m M^j a_R^j \phi_R^j, \quad (3.3.10)$$

де R_m – інтенсивність дихання підтримки;

M – суха біомаса посіву, $\text{м} \cdot \text{м}^{-2}$;

C_m – коефіцієнт дихання підтримки, $\text{г}_{\text{св}} \cdot \text{г}^{-1} \cdot \text{сут}^{-1}$;

a_R – параметр, що характеризує вплив фази онтогенезу на швидкість дихання, безрозмірний;

ϕ_R - функція впливу температури повітря на дихання, безрозмірний.

Облік зміни інтенсивності дихання в онтогенезі досить істотний, оскільки рівень дихання газообміну відображає, поряд з біохімічними особливостями протопласта, і ряд анатомо-морфологічних властивостей органа або тканини [14]. Біохімічна активність і структура тканин піддається досить сильним змінам, пов'язаним з віком і розвитком рослини, внаслідок чого значно міняється в онтогенезі й дихання. Найбільше інтенсивно дихають молоді тканини, що ростуть, при старінні рівень дихального метаболізму падає [16].

В прийнятій структурі моделі дихання оцінюється в цілому органі (наприклад, по всіх листках) і в цьому випадку функція має вигляд одновершинної кривої. Ця функція названа онтогенетичною кривою дихання [14].

Характер залежності дихання від температури виражається звичайно за допомогою коефіцієнта Q_{10} .

Інший вид запису температурної функції наведений у роботах і використаний у вигляді:

$$\varphi_R = Q_{10}^{0.1(T_A - T_{AO})}, \quad (3.3.11)$$

де Q_{10} – температурний коефіцієнт дихання, безрозмірний;

T_A – температура повітря, $^{\circ}\text{C}$;

T_{AO} – температура, при якій береться початкове (для розрахунку) значення дихання, $^{\circ}\text{C}$.

У випадку якщо ставитися завдання оцінки загального приросту біомаси в динаміці, це можна зробити по різниці між фотосинтезом і диханням. Однак вирішальне значення при моделюванні процесу формування врожаю належить оцінці приросту біомаси окремих органів, у тому числі й репродуктивних, тобто розподіл асимілятів між органами.

При описі швидкості змін сухої біомаси окремих органів на підставі [25] прийнята наступна система рівнянь:

$$\left. \begin{aligned} \frac{\Delta m_i^j}{\Delta t} &= \frac{\beta_i^j (\phi^j + P^j + S^j)}{1 + C_{Gp}} - \frac{(\alpha_{Ri}^j C_{mi} \varphi_R^j + \nu_i^j \tilde{m}_i^j)}{1 + C_{Gi}} \\ \frac{\Delta m_p^j}{\Delta t} &= \frac{\beta_p^j (\phi^j + P^j + S^j)}{1 + C_{Gp}} - \frac{(\alpha_{Ri}^j C_{mi} \varphi_R^j + \sum_i^{l,s,r} \nu_i^j \tilde{m}_i^j)}{1 + C_{Gi}} \end{aligned} \right\}, \quad (3.3.12)$$

де $\Delta m_i / \Delta t$ - швидкість росту і-го окремого органа;

$\Delta m_p / \Delta t$ - швидкість росту бульб;

β_i - ростова функція вегетативного періоду;

C_G – коефіцієнт дихання росту;

α_R - онтогенетична крива дихання;

C_m – коефіцієнт дихання підтримки;

φ_R - температурна крива дихання;

ν - ростова функція репродуктивного періоду;

m_i – функціонуюча біомаса i -го вегетативного органа.

У цьому рівнянні дихання росту й дихання підтримки структур окремо не обчислюється, а визначається за допомогою коефіцієнтів C_G , C_m , φ_R , α_R .

У період активного росту вся біомаса є функціонуючою, отже, приріст загальної й функціонуючої біомаси однаковий:

$$\frac{\Delta \tilde{m}_i^j}{\Delta t} = \frac{\Delta m_i^j}{\Delta t} \geq 0, \quad (3.3.13)$$

При стресових умовах або природному старінні рослини, коли кількість загальної біомаси знижується, (цей момент визначається на підставі моделі) внаслідок переваги процесів розпаду над процесами синтезу, кількість функціонуючої біомаси визначається як частка загальної біомаси:

$$-\frac{\Delta \tilde{m}_i^j}{\Delta t} = -\frac{\Delta m_i^j}{\Delta t} \cdot \frac{1}{R_{Si}}, \quad (3.3.14)$$

де R_{Si} – параметр, що характеризує частку життєдіяльних структур і рухливих вуглеводів у загальній біомасі органа, безрозмірний.

Розпаду піддаються життєдіяльні структури, які в рослині представлені практично тільки білками. Продукти розпаду білків, а також рухливі вуглеводи пересуваються в репродуктивні органи. Оскільки вміст білка й вуглеводів в органах рослин відомо досить добре, тому й визначення чисельного значення R_{Si} не представляє проблем.

Швидкість зміни площі асимілюючої поверхні i -го органа, як при сприятливих умовах росту й розвитку, і при виникненні стресових умов, а також у період старіння рослин опишемо рівнянням:

$$\frac{\Delta L_i^j}{\Delta t} = \left(\frac{\Delta \tilde{m}_i^j}{\Delta t} \right) \left(\frac{1}{\sigma_i} \right), \quad (3.3.15)$$

де σ_i - питома поверхнева щільність і-го асимілюючого органа.

Розрахунок зміни оптимальних значень температури в часі розраховується за формулою:

$$T_{opt} = 9.085 + 19.572 \cdot \tau^j - 10.689 \tau^{\sum j}, \quad (3.3.16)$$

$$\tau = \sum t / \sum t_{n.B.}$$

де T_{opt} – оптимальна температура повітря для фотосинтезу, $^{\circ}\text{C}$;

τ - відносний час, відн. од.;

$\sum t$ - сума ефективних температур вище 10°C з наростаючим підсумком від дати сходів, $^{\circ}\text{C}$;

$\sum t_{n.B.}$ - сума ефективних температур вище 10°C за повний період вегетації картоплі, $^{\circ}\text{C}$.

4. СУЧАСНИЙ СТАН МОДЕЛЮВАННЯ РОЗВИТКУ ІНФЕКЦІЇ

При формуванні врожаю картоплі його зниження найбільш часто відбувається з наступних причин: по-перше, значні коливання врожайності визначаються впливом погодних умов, по-друге, при значному перезволоженні спостерігається розвиток фітофтори, що також обумовлює великі коливання врожаю картоплі.

Розробка динамічних моделей продуктивності сільськогосподарських культур дозволяє досліджувати вплив агрометеорологічних умов на найважливіші процеси життєдіяльності рослин, пояснити цілий ряд особливостей впливу цих умов на продуктивність рослин, вивчити адаптивні реакції на зміну умов зовнішнього середовища. Ці моделі можуть розглядатися в якості основи для розробки методів агрометеорологічних розрахунків і прогнозів.

Підвищення врожайності картоплі неможливо без зниження втрат врожаю, що викликаються різними хворобами і шкідниками. Для успішної боротьби з хворобами, в першу чергу фітофторозом, необхідно мати відповідний прогноз.

Першу модель для прогнозу фітофторозу запропонував Вагонер. Модель дозволяє визначити тенденцію розвитку цього захворювання в різних погодних умовах.

Хотілося б підкреслити, що при оцінці моделей головним фактором є не ступінь складності і кількість параметрів, включених в розгляд, а ступінь адекватності моделі для вирішення поставленого завдання в конкретних умовах зовнішнього середовища. Адекватність нескладних моделей багато в чому залежить від знання автором досліджуваного об'єкта в контексті своєї конкретної задачі.

Динамічну модель погода-урожай для картоплі, як основу системи картопля-шкідник-хвороба-середовище проживання розробили О.К. Устинова, Є.В. Абашина, В.В. Вольвач [13]. Посів в моделі розглядається як

функціонально диференційоване ціле, в якому виділено п'ять ємностей: листя, стебла, коріння, материнська бульба, бульба нового врожаю (l, s, r, c, r). Добовий приріст біомаси кожного органу рослини визначається процесами росту G_p , дихання D_p , розпаду q_p і отпад відмерлих тканин P_p :

$$dm_p / dt = G_p - D_p - q_p - P_p \quad (4.1)$$

де m_p – вага p -го органу, мг/см², $p \in l, s, r, c, R$.

Під ростом в моделі розуміється новоутворення структурної маси і передбачається, що весь фонд вуглеводів, який сформувався за добу перетворюється в структурну масу в процесі росту.

Для опису дихання використана двокомпонентна схема. Прийнято, що дихання складається з дихання зростання, прямо пропорційного швидкості росту і дихання підтримки, обумовленого величиною вже сформованої маси органу, вологістю і температурою середовища:

$$D_p = R_g G_p + D_1 (1 - \psi_Q) + D_2 m_p \varphi_Q, \quad (4.2)$$

де D_p - подих p -го органу, мг / мг добу;

R_g - коефіцієнт дихання зростання;

D_1, D_2 - коефіцієнти дихання підтримки, мг/мг добу;

$\psi_Q \varphi_Q$ - вологісна і температурна функції дихання.

Вплив режиму зволоження на утворення нових тканин рослини здійснюється через два канали: при нестачі вологи в ґрунті - через продихо-кутикулярний опір потоку CO_2 , при надлишку - через коефіцієнт перезволоження. Азотний режим впливає на фотосинтез і ріст в моделі через величину фотохімічного опору фотосинтезу. Слід підкреслити, що в цій моделі для врахування хвороб використовуються фактичні дані про відсоток ушкоджень, розвиток хвороб не моделюється. При наявності ушкоджень

вводяться дати їх настання, кількість пошкоджених органів і відсоток ушкоджень. Таким чином, інформація про пошкодження або про хвороби, що надходить в модель, тягне за собою зміну мас і площ органів картоплі. Така інформація може бути отримана в результаті розрахунків по окремій моделі розвитку хвороб. Ю.А.Моргунов, В.В. Вольвач, О.К. Устинова розробили модель розвитку фітофтори картоплі.

Сучасна технологія вирощування сільськогосподарських культур передбачає контроль за станом посівів та корекцію агротехнічних заходів в залежності від результатів цього контролю. Одна з характеристик стану посівів - ступінь розвитку різних хвороб, що вражають рослини. У зв'язку з цим становить інтерес проблема моделювання розвитку найбільш небезпечної хвороби картоплі - фітофторозу. Стан посівів визначають наступні характеристики: $X_p(\tau, t)$ - площа листової поверхні, що знаходиться в τ -стадії латентного періоду на момент часу t ; аналогічна величина для інфекційного періоду $x_i(\tau, t)$; x_* - площа загиблої листової поверхні. Загальна площа зараженої листової поверхні дорівнює:

$$X_z = \int_0^1 x_p(\tau, t) d\tau + \int_0^1 x_i(\tau, t) d\tau + x_* \quad (4.3)$$

4.1 Моделювання розвитку інфекції і її впливу на продуктивність рослин

Для фітофтори картоплі первинне зараження рослин проявляється через 15 днів після того, як протягом доби температура нижче точки роси тримається не менше 4 годин, мінімальна температура не опускається нижче 10^0C , в наступну добу відзначається дощ не менше 0,1 мм і середня хмарність не нижче 8 балів. Відповідно до даних, А.І. Руденко і Н.І. Білозір [21], початок появи фітофтори на ранніх сортах, слід очікувати через 7-10 днів

після того, як в кожен з цих днів спостерігалася, середня добова температура повітря близько 13-20 °С при відносній вологості повітря більше 75 % і сумі опадів за декаду більше 20 мм.

У картоплі уражаються окремі органи рослин: листя, стебла, бульби. У деяких випадках уражаються бутони і ягоди. Хвороба виявляється в полі спочатку на листках. На уражених листках з'являються темно-бурі плями, відмирають тканини. При розростанні плями розпливаються і покривають всю часточку листя. На нижній поверхні листя навколо плям на кордоні із зеленою здоровою тканиною утворюється помітний в сиру погоду або вранці по росі ніжний білий павутинний, плесневідний наліт. На стеблах і черешках листя хвороба проявляється у вигляді окремих або суцільних подовжених коричневих смуг. У суху погоду уражені тканини засихають, а в сиру гниють. Хворі листя звисають вниз. При сильному ураженні бадилля почорнілі кущі виглядають так, точно побиті морозом [32].

А.І. Руденко виділені чотири зони з тим або іншим ступенем ймовірності поширення хвороби.

1. Посушлива, помірно спекотна зона з недостатньо сприятливими умовами для бульбоутворення картоплі (температура повітря 19-22 °С, опади переважно 60-80 мм, ГТК 0,7-1,0); ймовірність поширення фітофтори менше 10-15 %.

2. Недостатньо волога, дуже тепла зона з задовільними умовами для бульбоутворення картоплі (температура повітря 16-19 °С на півночі і трохи вище на південному заході, опади переважно 70-80 мм і трохи вище на південному заході, ГТК - 1,0 -1,5); ймовірність поширення фітофтори 15-50 %.

3. Помірно волога зона з сприятливими умовами для бульбоутворення картоплі; зона підрозділяється на дві підзони: а) помірно волога, тепла (температура 15-18,5 °С, опади 80-120 мм, ГТК -1,5-1,8); ймовірність поширення фітофтори 50-75 %; б) помірно волога прохолодна (температура

12-15 °С, опади 70-105 мм, ГТК - 1,5-1,8); ймовірність поширення фітофтори до 50 % і більше.

4. Волога, помірно тепла зона з цілком сприятливими умовами для бульбоутворення картоплі (температура 16-17 °С, опадів більше 120 мм, ГТК більше 1,8); ймовірність поширення фітофтори більше 75 %.

Фотосинтетична активність листя хворих рослин значно знижується в порівнянні зі здоровими. Зниження інтенсивності фотосинтезу залежить від ряду факторів: фази розвитку рослини-господаря, ступеня ураження, стану рослини при зараженні. Зміни в інтенсивності фотосинтезу, як правило, не виявляється в інкубаційний період. Однак з появою видимих ознак пошкодження інтенсивність фотосинтезу різко знижується, в ряді випадків - значно (до 32 %).

Головними причинами зниження інтенсивності фотосинтезу слід вважати зниження кількості хлорофілу і порушення ходу темної реакції фотосинтезу. Отже, при моделюванні фотосинтезу вплив інфекції на цей процес може бути введено через зміни кута нахилу і плато світлової кривої фотосинтезу [32].

При захворюванні знижується стійкість рослин до несприятливих чинників зовнішнього середовища, максимум температурної кривої фотосинтезу уражених інфекцією рослин зрушується у бік нижчих температур. Тоді вплив температури повітря на фотосинтез інфікованої рослини можна описати виразом:

$$\Psi_{\phi \text{ inf}}^j = 0.2 \frac{T_d^j - T_{d_o}}{T_{d_{opt}} - \Delta T_{\text{inf}} - T_{d_o}} \times \left[6 - \left(\frac{T_d^j - T_{d_o}}{T_{d_{opt}} - \Delta T_{\text{inf}} - T_{d_o}} \right)^5 \right] \quad (4.1.1)$$

де ΔT_{inf} - температурна поправка, що враховує зміну оптимальної для фотосинтезу температури повітря при поразці рослини інфекцією.

Починаючи з моменту зараження, інтенсивність дихання уражених тканин значно змінюється. Облік в моделі зміни дихання, представляє значні

труднощі. Вони обумовлені, зокрема, тим, що дихання в ході хвороби змінюється неоднозначно.

Наявні дані дозволяють моделювати вплив хвороби на процес дихання починаючи з моменту, коли стає видимим пошкодження. В цей час дихання вже пригнічене і в нестійких сортів воно нижче, ніж у здорових рослин. Зниження інтенсивності дихання моделюється за рахунок зниження дихання зростання і дихання підтримки. Дихання інфікованої рослини R_{inf} описується тоді таким чином:

$$R_{\text{inf}} = \alpha_{R_{\text{inf}}} R, \quad (4.1.2)$$

$\alpha_{R_{\text{inf}}}$ - онтогенетична крива дихання інфікованої рослини.

Рівняння швидкості росту вегетативних і репродуктивних органів ураженої інфекцією рослини прийняте з врахуванням зміни інтенсивності фотосинтезу. Вважаємо останнє пропорційним хворій тканині рослини. Збільшення долі хворих тканин рослини визначається формулою:

$$\rho^j = \rho_o \exp(\lambda^j), \quad (4.1.3)$$

де λ - швидкість інфекції, яка розраховується по виразу:

$$\lambda = \frac{1}{t_2 - t_1} \left(\ln \frac{\rho_2}{1 - \rho_2} - \ln \frac{\rho_1}{1 - \rho_1} \right), \quad (4.1.4)$$

де ρ_1 і ρ_2 - частка хвороби в терміни спостережень t_1 і t_2 .

Пошкодження рослин хворобами призводить до зменшення площі асимілюючої поверхні і зниження кількості функціонуючої біомаси, що можна описати виразами:

$$L_{\text{inf}}^j = L_i^{j-1} k_{\text{inf}}^j, \quad (4.1.5)$$

$$\tilde{m}_{\text{inf}}^j = m_i^{j-1} k_{\text{inf}}^j \quad (4.1.6)$$

де $L_{i_{inf}}$ - відносна площа асимілюючої поверхні i -го органу інфікованої рослини;

$\tilde{m}_{i_{inf}}$ - функціонуюча біомаса i -го органу інфікованої рослини;

k_{inf} - параметр, що характеризує ступінь ураження рослин.

4.2 Параметри блоку розвитку інфекції

Вплив грибних інфекцій моделюється починаючи з моменту розвитку інфекції. Фотосинтетична активність листя хворих рослин значно знижується в порівнянні зі здоровими. Зниження інтенсивності фотосинтезу залежить від ряду факторів - фази розвитку рослини-господаря, ступеня ураження, стану рослини при зараженні. Зміни в інтенсивності фотосинтезу, як правило, не виявляються в інкубаційний період. Однак, з появою видимих ознак пошкодження, інтенсивність фотосинтезу різко знижується, в ряді випадків значно (до 32 %).

Головними причинами зниження інтенсивності фотосинтезу слід вважати зниження якості хлорофілу і порушення ходу темнова реакцій фотосинтезу. Отже, при моделюванні фотосинтезу вплив інфекції на цей процес може бути введено через зміну кута нахилу світлової кривої фотосинтезу, яке покладається прямо пропорційним частці здорової тканини листа [32].

Зниження стійкості рослин при їх ураженні інфекцією до несприятливих факторів зовнішнього середовища проявляється в наступному. Процес фотосинтезу хворої рослини починає придушуватися ні при високих температурах повітря, а вже при декілька підвищених температурах повітря.

На основі даних нами визначено поєднання критичних значень температури повітря, відносної вологості повітря і суми опадів, при яких починається розвиток фітофтори. Ці значення наведені в табл. 4.1.

Таблиця 4.1 - Основні параметри блоку розвитку інфекції

Блок	Параметр	Одиниця виміру	Чисельні значення
Розвитку інфекції	ΔT_{inf} - температурна поправка, що враховує зміну оптимальної для фотосинтезу температури повітря при ураженні рослини інфекцією	$^{\circ}\text{C}$	1,5
	T_{crit} - критичне значення температури повітря при якому починається розвиток фітофторозу	$^{\circ}\text{C}$	13
	V_{crit} - критичне значення відносної вологості повітря при якому починається розвиток фітофторозу	%	75
	θ_{crit} - критична величина суми опадів при якій починається розвиток фітофторозу	мм	15

Моделювання впливу хвороби на процес дихання починається з моменту, коли стають видимими пошкодження. У цей час дихання вже придушене і у нестійких сортів воно нижче, ніж у здорових рослин. Зниження інтенсивності дихання моделюється за рахунок зниження дихання зростання і дихання підтримки.

4.3 Опис структури моделі

Блок фотосинтезу. Фотосинтез листя може бути представлений формулою:

$$\Phi_0^j = \frac{kbI^j}{k + bI^j}, \quad (4.3.1)$$

де Φ_0^j – інтенсивність фотосинтезу при оптимальних умовах тепло- і вологозабезпечення в реальних умовах освітленості мг $\text{CO}_2/(\text{дм}^2\text{ч})$;

k – інтенсивність фотосинтезу при світловому насиченні і нормальній концентрації CO_2 , мг $\text{CO}_2/(\text{дм}^2\text{ч})$;

b – початковий нахил світлової кривої фотосинтезу, мг $\text{CO}_2/(\text{дм}^2\text{ч}^1)/(\text{кал}\cdot\text{см}^{-2}\text{мин}^{-1})$;

I – інтенсивність фотосинтетичної активної радіації (ФАР) в середині посіву, кал/ $(\text{см}^2\text{мин})$;

j – номер кроку розрахункового періоду.

В онтогенезі фотосинтетична активність листя визначається його віком і напруженістю водно-теплогового режиму.

Для розрахунку фотосинтезу в онтогенезі в реальних умовах середовища, відмінних від біологічно оптимальних, використовується вираз:

$$\Phi_\tau^j = \Phi_0^j d_\Phi^j \psi_\Phi^j \gamma_\Phi^j, \quad (4.3.2)$$

де Φ_τ – інтенсивність фотосинтезу в реальних умовах середовища, мг $\text{CO}_2/(\text{дм}^2\text{ч})$;

d_Φ – онтогенетична крива фотосинтезу;

ψ_Φ, γ_Φ – функції впливу факторів зовнішнього середовища (середньої за світлий час доби температури повітря і вологості ґрунту), що представляють собою одновершинні криві.

Функції $d_\Phi, \psi_\Phi, \gamma_\Phi$, нормовані і змінюються від 0 до 1.

Сумарний фотосинтез посіву за світлий час доби можна розраховувати за формулою:

$$\Phi^j = E\Phi_{\tau}^j L^j \tau_D^j, \quad (4.3.3)$$

де Φ – денний фотосинтез посіву на одиницю площі, г/(м²сут);

$E = 0,68$ – коефіцієнт ефективності фотосинтезу;

L – площа листової поверхні, м²/м²;

τ_D – довжина дня, ч.

Блок дихання. На відміну від процесу фотосинтезу, здатністю до дихального газообміну мають всі органи рослини.

Витрати на дихання підрозділяється [14] на дихання, пов'язане з пересуванням речовин, фотосинтезом і створенням нових структурних одиниць:

$$R^j = \alpha_R^j C_1 M^j + C_2 \Phi^j, \quad (4.3.4)$$

де R – витрати на дихання, г/м²;

α_R – онтогенетична крива дихання;

C_1 – коефіцієнт, що характеризує витрати на підтримку структури;

M – суха біомаса посіву, г/м²;

C_2 – коефіцієнт, що характеризує витрати, пов'язані з пересуванням речовин, фотосинтезом і створенням нових структурних одиниць.

Блок зростання. Приріст біомаси посіву визначається різницею між сумарним фотосинтезом посіву та витратами на дихання:

$$\Delta M^j = \Phi^j - R^j, \quad (4.3.5)$$

Для опису зростання окремих органів рослин скористаємося ростовими рівняннями в модифікованому [3] вигляді:

$$m_i^{j+1} = m_i^j + \beta_i^j \Delta M^j - V_i^j m_i^j, \quad (4.3.6)$$

$$m_p^{j+1} = m_p^j + \left(\beta_p^j \Delta M^j + \sum_i^{l,s,r} V_i^j m_i^j \right),$$

де m_i – загальна суха біомаса окремих (l-листя, s-стебла, r-коріння, p-репродуктивні органи) органів, г/м²;

β_i - функція перерозподілу «свіжих» ассимілятів;

V_i – функція перерозподілу «старих» ассимілятів.

Зростання площі листя посіву визначається при позитивному прирості біомаси листя по формулі [3]:

$$L^{j+1} = L^j + \Delta m_i \frac{1}{z}, \quad (4.3.7)$$

де z – питома поверхнева площа листя, г/м².

При негативному прирості біомаси листя для опису росту їх ассиміляційної поверхні застосуємо співвідношення виду:

$$L^{j+1} = L^j - \Delta m_i \frac{1}{z k_c}, \quad (4.3.8)$$

де $k_c=0,3$ – параметр, що характеризує критичну величину зменшення живої біомаси листя, при якій починається її відмирання.

Агрометеорологічний блок. Поглинена посівом ФАР обчислюється за формулою:

$$I^j = \frac{I_0^j}{1 + CL}, \quad (4.3.9)$$

де I_0 – інтенсивність ФАР на верхній межі посіву, кал/(см²мин);

$c=0,5$ – емпірична постійна.

Потік ФАР на верхню межу посіву визначається за формулою:

$$I_0^j = \frac{0.5Q^j}{60\tau_D}, \quad (4.3.10)$$

де Q – сумарна сонячна радіація, кал/(см²сут).

Сумарна сонячна радіація розраховується за формулою Сівкова:

$$Q^j = 12.66 \left(\frac{S^j}{h_n^j} \right)^{1.31} + 315 \left(\ln h_n^j \right)^{2.1}, \quad (4.3.11)$$

де S – тривалість сонячного сяйва, ч; h_n – полуденна висота Сонця.

Середня за світлий час доби температура повітря розраховується за формулою виду:

$$T_D = \alpha_1 T_{\max} + \alpha_0, \quad (4.3.12)$$

де T_D и $T_{\max}$ – відповідно середня денна і максимальна температура повітря; α_0, α_1 - емпіричні коефіцієнти.

При захворюванні знижується стійкість рослин до несприятливих чинників зовнішнього середовища, максимум температурної кривої фотосинтезу уражених інфекцією рослин зрушується у бік нижчих температур. Тоді вплив температури повітря на фотосинтез інфікованої рослини можна описати виразом:

$$\Psi_{\phi \inf}^j = 0.2 \frac{T_d^j - T_{d_o}}{T_{d_{opt}} - \Delta T_{\inf} - T_{d_o}} \times \left[6 - \left(\frac{T_d^j - T_{d_o}}{T_{d_{opt}} - \Delta T_{\inf} - T_{d_o}} \right)^5 \right] \quad (4.3.13)$$

де $\Delta T_{\inf}$ - температурна поправка, що враховує зміну оптимальної для фотосинтезу температури повітря при поразці рослини інфекцією.

Починаючи з моменту зараження, інтенсивність дихання уражених тканин значно змінюється. Облік в моделі зміни дихання, представляє значні труднощі. Вони обумовлені, зокрема, тим, що дихання в ході хвороби змінюється неоднозначно.

Наявні дані дозволяють моделювати вплив хвороби на процес дихання починаючи з моменту, коли стає видимим пошкодження. В цей час дихання вже пригнічене і в нестійких сортів воно нижче, ніж у здорових рослин. Зниження інтенсивності дихання моделюється за рахунок зниження дихання

зростання і дихання підтримки. Дихання інфікованої рослини R_{inf} описується тоді таким чином:

$$R_{\text{inf}} = \alpha_{R_{\text{inf}}} R, \quad (4.3.14)$$

$\alpha_{R_{\text{inf}}}$ - онтогенетична крива дихання інфікованої рослини.

Рівняння швидкості росту вегетативних і репродуктивних органів ураженої інфекцією рослини прийняте з врахуванням зміни інтенсивності фотосинтезу. Вважаємо останнє пропорційним хворій тканині рослини. Збільшення долі хворих тканин рослини визначається формулою:

$$\rho^j = \rho_0 \exp(\lambda^j t^j), \quad (4.3.15)$$

де λ - швидкість інфекції, яка розраховується по виразу:

$$\lambda = \frac{1}{t_2 - t_1} \left(\ln \frac{\rho_2}{1 - \rho_2} - \ln \frac{\rho_1}{1 - \rho_1} \right), \quad (4.3.16)$$

де ρ_1 і ρ_2 - частка хвороби в терміни спостережень t_1 і t_2 .

Пошкодження рослин хворобами призводить до зменшення площі асимілюючої поверхні і зниження кількості функціонуючої біомаси, що можна описати виразами:

$$L_{\text{inf}}^j = L_i^{j-1} k_{\text{inf}}^j, \quad (4.3.17)$$

$$\tilde{m}_{\text{inf}}^j = m_i^{j-1} k_{\text{inf}}^j, \quad (4.3.18)$$

де L_{inf} - відносна площа асимілюючої поверхні і-го органу інфікованої рослини;

$\tilde{m}_{\text{inf}}$ - функціонуюча біомаса і-го органу інфікованої рослини;

k_{inf} - параметр, що характеризує ступінь ураження рослин.

5. МОДЕЛЮВАННЯ ВПЛИВУ РІЗНИХ ТЕРМІНІВ ВИНИКНЕННЯ ФІТОФТОРИ НА ФОРМУВАННЯ ВРОЖАЮ КАРТОПЛІ В ВОЛИНСЬКІЙ ОБЛАСТІ

Картопля належить до культур, які в сильному ступені уражуються хворобами, особливо фітофторою, що нерідко є основною причиною різкого зниження її врожаю. При сприятливих умовах (коли часто випадають опади і помірна температура) хвороба на полі поширюється дуже швидко і протягом 7-10 днів може знищити все бадилля картоплі.

Найбільш часто сприятливі умови для розвитку фітофтори спостерігаються в північній частині України. Тому для проведення чисельного експерименту нами була обрана Волинська область.

Нами в численних експериментах для умов Волинської області (при середніх багаторічних агрометеорологічних умовах) досліджувався вплив терміну початку розвитку захворювання фітофторою на рослинах картоплі. Весь період вегетації був розділений на три під-періоди: 1-й ранній термін виникнення інфекції, фітофтора з'являється з першої декади вегетації; 2-й середній термін виникнення інфекції, фітофтора виникає з третьої декади вегетації; 3-й пізній термін виникнення фітофтори, фітофтора з'являється з сьомої декади вегетації.

5.1 Формування врожайності картоплі в Волинській області при відсутності фітофтори

В цьому розділі дипломного проекту розглянемо, як відбувався розвиток картоплі, яка була врожайність картоплі в Волинській області при відсутності захворювання.

Весь період вегетації був розділений на три під-періоду: 1-й ранній термін виникнення інфекції, фітофтора з'являється з першої декади вегетації;

2-й середній термін виникнення інфекції, фітофтора виникає з третьої декади вегетації; 3-й пізній термін виникнення фітофтори, фітофтора з'являється з сьомої декади вегетації. В цьому розділі дипломного проекту розглянемо розвиток картоплі без впливу на нього захворювання.

У табл. 5.1.1 представлена суха біомаса листя, стебел та коренів картоплі в Волинській області при відсутності фітофтори.

Таблиця 5.1.1 - Суха біомаса листя, стебел та коренів картоплі в Волинській області при відсутності фітофтори

Декади вегетації	Суха біомаса, (г/м ²)		
	листя	стебел	коренів
1	6,97	6,72	4,83
2	16,96	16,35	11,12
3	32,63	31,43	20,98
4	63,64	61,30	40,51
5	122,64	118,11	77,66
6	200,3	192,89	126,55
7	189,39	182,39	119,67
8	166,55	160,40	105,28
9	144,51	139,18	91,40

Розглянемо, яка була суха біомаса листя, стебел та коренів картоплі при відсутності фітофтори в Волинській області. З таблиці видно, що максимальна суха біомаса листя, стебел і коренів картоплі спостерігалася в шосту декаду вегетації і склала у листя 200,3 г/м²; у стебел 192,8 г/м²; суха біомаса коріння картоплі склала 126,5 г/м².

У табл. 5.1.2 представлені ростові функції листя, стебел, коренів та бульб картоплі, а також онтогенетичні криві фотосинтезу і дихання при відсутності фітофтори в Волинській області.

Таблиця 5.1.2 - Ростові функції листя, стебел, коренів, бульб картоплі і онтогенетичні криві фотосинтезу та дихання при відсутності фітофтори в Волинській області

Декади вегетації	Ростові функції				Онтогенетичні криві	
	листя	стебел	коренів	бульб	фотосинтезу	дихання
1	0,486	0,471	0,343	0	0,762	0,743
2	0,486	0,471	0,343	0	0,873	0,981
3	0,486	0,471	0,343	0	0,970	1,091
4	0,486	0,471	0,343	0	1,048	1,005
5	0,477	0,463	0,337	0,123	1,093	0,739
6	0,346	0,337	0,255	0,462	1,088	0,430
7	0,150	0,148	0,132	0,970	1,033	0,228
8	0,117	0,116	0,110	1,057	0,945	0,143
9	0,114	0,114	0,109	1,063	0,835	0,112

Розглянемо, як змінювалися ростові функції листя, стебел, коренів, бульб картоплі та онтогенетичні криві дихання і фотосинтезу. З табл. 5.1.2 видно, що ростові функції листя, стебел і коренів спочатку вегетації були максимальними, потім зменшувалися. Ростова функція бульб збільшувалася з п'ятої декади вегетації і досягла максимуму в дев'яту декаду вегетації. Онтогенетичні криві фотосинтезу і дихання спочатку вегетації збільшувалися, а потім йшли на спад. Онтогенетична крива фотосинтезу збільшувалася до шостої декади вегетації, а онтогенетична крива дихання збільшувалася до четвертої декади вегетації.

Ростові функції листя, стебел і коренів були максимальними в першу, другу, третю і четверту декади вегетації. Максимум ростової функції бульб

картоплі був зафіксований в дев'яту декаду вегетації, розвиток бульб картоплі почався з п'ятої декади вегетації. Онтогенетичні криві фотосинтезу і дихання змінюються протягом вегетації. Онтогенетична крива фотосинтезу збільшувалася до шостої декади вегетації, а онтогенетична крива дихання збільшувалася до четвертої декади вегетації.

На рис. 5.1.1 представлена динаміка площі листя картоплі при відсутності фітофтори в Волинській області.

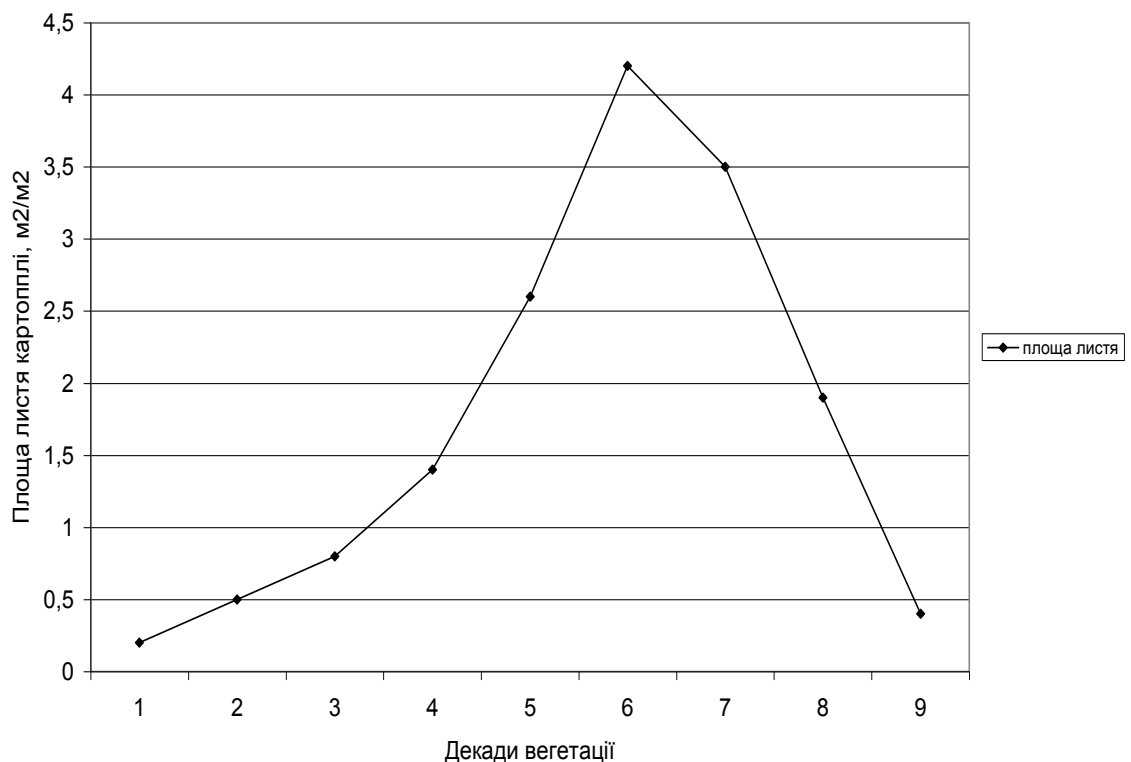


Рис. 5.1.1 – Динаміка площі листя картоплі при відсутності фітофтори в Волинській області

З рис. 5.1.1 видно, що площа листя інтенсивно розвивалася і максимум зафіксований в шосту декаду вегетації і склав $4,18 \text{ м}^2/\text{м}^2$. Площа листя картоплі почала збільшуватися з першої декади вегетації, потім спостерігався інтенсивне збільшення площі листя картоплі до шостої декади вегетації, де і був зафіксований максимум площі листя картоплі, потім площа листя почала повільно знижуватися, і знижувалася до дев'ятої декади вегетації.

Період формування бульб, що стосується скоростиглості сортів різний. В'янення бадилля є зовнішньою ознакою закінчення бульбоутворення. В'янення бадилля у пізньостиглих сортів в Поліській частині області починається у другій половині серпня, в Лісостеповій - у вересні. Збір врожаю проводять у другій половині вересня.

На рис. 5.1.2 представлена суха біомаса бульб картоплі в Волинській області при відсутності захворювання.

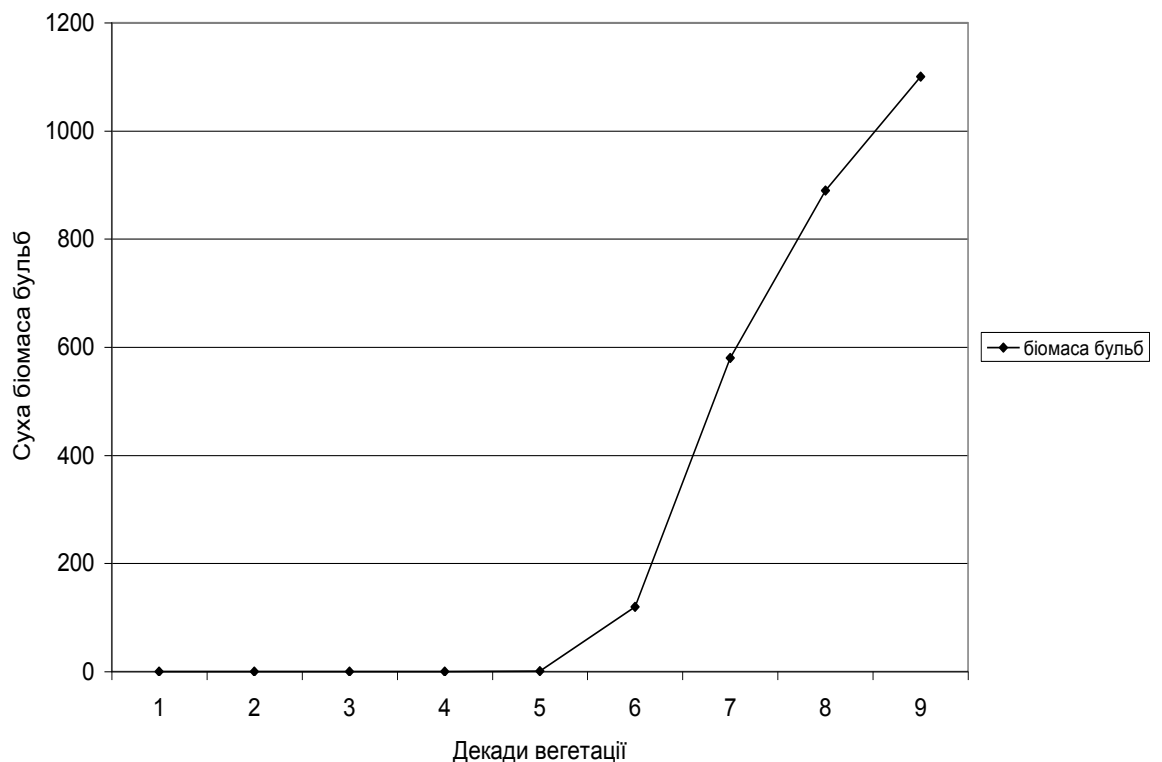


Рис. 5.1.2 – Суха біомаса бульб картоплі в Волинській області при відсутності фітофтори

З рис. 5.1.2 видно, що біомаса бульб картоплі почала свій розвиток з п'ятої декади вегетації і набирала масу до дев'ятої декади вегетації. При відсутності захворювання максимальна суха біомаса бульб картоплі становить 1092,5 г/м².

На рис. 5.1.3 дана інтенсивність фотосинтезу в Волинській області при відсутності фітофтори.

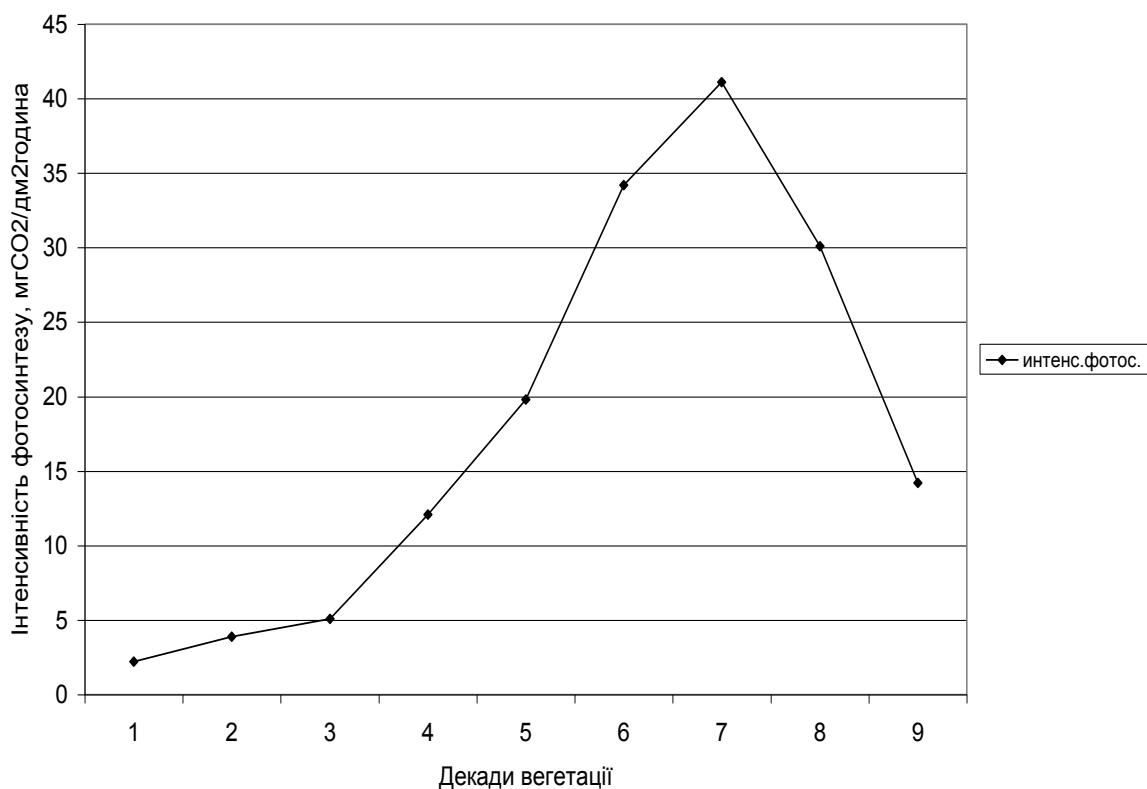


Рис. 5.1.3 – Інтенсивність фотосинтезу в Волинській області при відсутності фітофтори

З рис. 5.1.3 видно, що інтенсивність фотосинтезу на початку вегетації різко йшла вгору і досягла максимального значення в сьому декаду вегетації, потім інтенсивність фотосинтезу почала знижуватися до кінця вегетації. При відсутності захворювання максимум інтенсивності фотосинтезу становить: 40,8 мг CO_2 / дм² година.

5.2 Формування врожайності картоплі при впливі раннього терміну виникнення фітофтори в Волинській області

У цьому розділі розглянемо 1-й ранній термін виникнення фітофтори і проведемо порівняльну оцінку впливу інфекції на врожайність картоплі при ранньому терміні виникнення фітофтори і при її відсутності.

На поверхні хворої бульби утворюються спори, які розподіляються в прилеглих шарах ґрунту. Радіус поширення в ґрунті нерідко досягає 20 см. Якщо паростки бульби стикаються з цим шаром, то можна виявити заражені паростки навіть у здорових маткових бульбах. Хворі маткові бульби, як правило, мають заражені паростки. Заражений ґрунт і інфіковані паростки протягом вегетації є тим джерелом інфекції, який при настанні сприятливих погодних умов забезпечує швидке поширення хвороби в полі. Нижні листя, що лежать на ґрунті, і стебла рослин уражуються від верхнього зараженого шару ґрунту.

На рис. 5.2.1 представлено вплив раннього терміну виникнення фітофтори і її відсутності на площу листя картоплі в Волинській області. З рис. 5.2.1 видно, на скільки відрізняється площа листя картоплі при ранньому терміні виникнення фітофтори і при відсутності фітофтори. При відсутності захворювання максимум площі листя спостерігається в шосту декаду вегетації і становить $4,18 \text{ м}^2/\text{м}^2$. Значний вплив на площу листя надає ранній термін виникнення фітофтори, максимум спостерігається в четверту декаду вегетації і становить $1,15 \text{ м}^2/\text{м}^2$.

Можна зробити висновок, що перший, ранній термін виникнення фітофтори згубно впливає на площу листя картоплі, площа листя картоплі при відсутності захворювання в чотири рази більше, ніж при захворюванні картоплі фітофторою, що в подальшому може позначитися на врожайності картоплі.

В таблиці 5.2.1 представлено суха біомаса листя, стебел і коренів картоплі при ранньому терміні виникнення фітофтори в Волинській області.

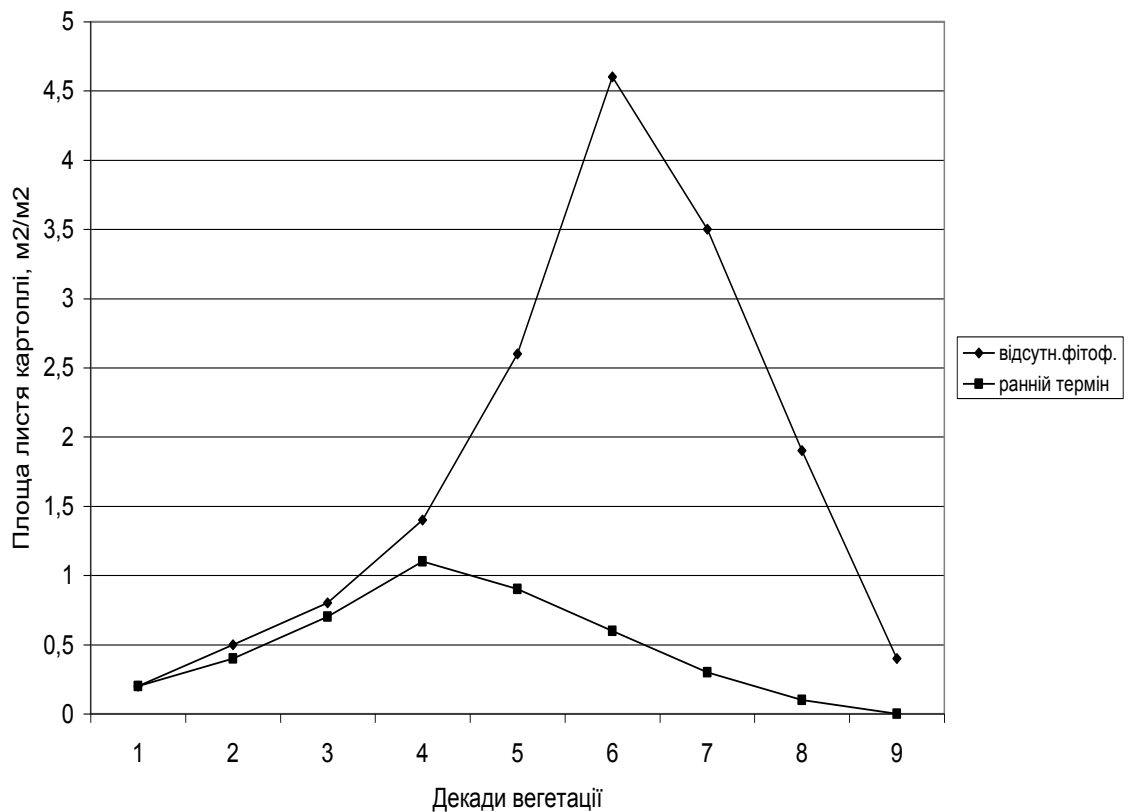


Рис. 5.2.1 – Динаміка площі листя картоплі при впливі раннього терміну виникнення фітофтори і при відсутності захворювання в Волинській області

З табл. 5.2.1 видно, що при ранньому терміні виникнення фітофтори суха біомаса листя, стебел і коренів збільшувалася до п'ятої декади вегетації, а потім почала зменшуватися. Максимальна суха біомаса листя, стебел і коренів спостерігається в п'яту декаду вегетації і становить у листя 65,56 г/м²; у стебел 63,14 г/м²; у коріння 41,72 г/м². При відсутності фітофтори максимальна біомаса листя, стебел і коренів картоплі спостерігалася в шосту декаду вегетації і склала у листя 200,3 г/м²; у стебел 192,8 г/м²; суха біомаса коріння картоплі склала 126,5 г/м².

Якщо порівняти суху біомасу листя, стебел і коренів при відсутності фітофтори, з сухою біомасою листя, стебел і коренів при впливі першого, раннього терміну виникнення фітофтори, то різниця буде дуже значна, у листя 134,74 г/м², у стебел 129,66 г/м², у коренів 84,78 г/м². В подальшому це може позначитися на врожайності картоплі.

Таблиця 5.2.1 - Суха біомаса листя, стебел і коренів картоплі при відсутності фітофтори та при ранньому терміні виникнення фітофтори в Волинській області

Декади вегетації	Суха біомаса, (г/м ²)					
	при відсутності фітофтори			при ранньому терміні виникнення фітофтори		
	листя	стебел	коренів	листя	стебел	коренів
1	6,97	6,72	4,83	6,15	5,75	3,84
2	16,96	16,35	11,12	16,80	16,19	10,02
3	32,63	31,43	20,98	31,62	31,38	20,60
4	63,64	61,30	40,51	57,64	55,52	36,73
5	122,64	118,11	77,66	65,56	63,14	41,72
6	200,3	192,89	126,55	61,82	59,54	39,36
7	189,39	182,39	119,67	58,0	55,87	36,95
8	166,55	160,40	105,28	54,26	52,28	34,58
9	144,51	139,18	91,40	50,50	48,65	32,21

На рис. 5.2.2 представлено вплив раннього терміну виникнення фітофтори і відсутність фітофтори на суху біомасу бульб картоплі в Волинській області.

З рис. 5.2.2 видно, що суха біомаса бульб картоплі в Волинській області почала збільшуватися при відсутності фітофтори з п'ятої декади вегетації і до дев'ятої декади вегетації, в цьому декаду вегетації суха біомаса бульб картоплі склала 598,8 г/м². Максимальна суха біомаса бульб картоплі зафіксована в дев'яту декаду вегетації і становить 1092,5 г/м².

При наявності захворювання суха біомаса бульб картоплі почала збільшуватися з третьої декади вегетації і максимальна біомаса припадає на дев'яту декаду вегетації і становить 347,8 г/м². В результаті отриманих даних можна зробити висновок, що ранній термін виникнення фітофтори в Волинській області практично повністю знищує суху біомасу бульб картоплі.

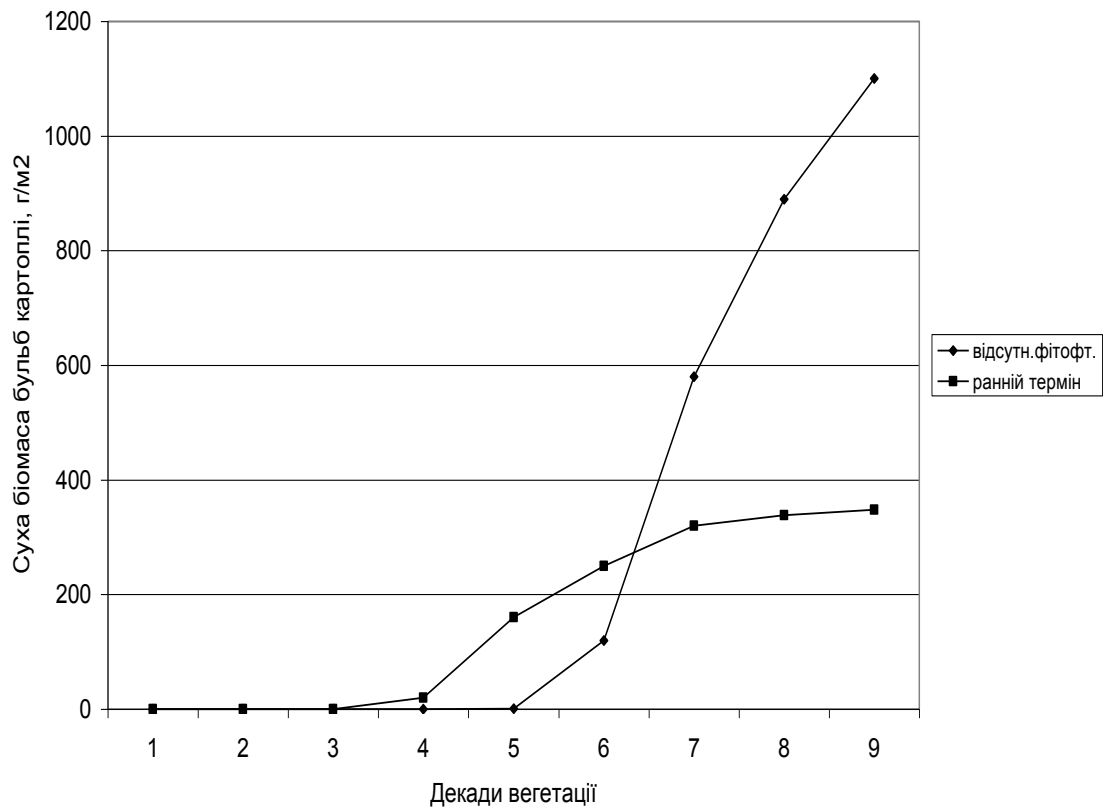


Рис. 5.2.2 – Суха біомаса бульб картоплі при впливі раннього терміну виникнення фітофтори і при відсутності захворювання в Волинській області

На рис. 5.2.3 представлено вплив раннього терміну виникнення фітофтори і її відсутність на інтенсивність фотосинтезу в Волинській області.

З рис. 5.2.3 видно значна різниця між інтенсивністю фотосинтезу, при відсутності фітофтори і при наявності захворювання. Так при відсутності фітофтори максимальна інтенсивність фотосинтезу становить $40,8 \text{ мгСО}_2/\text{дм}^2\text{година}$, при наявності захворювання максимальна інтенсивність фотосинтезу буде дорівнювати $12,8 \text{ мгСО}_2/\text{дм}^2\text{година}$.

В табл. 5.2.2 представлено визначення ознаки появи фітофтори, з таблиці видно, що фітофтора з'являється на картоплі вже з першої декади вегетації, це ранній термін виникнення захворювання і триває захворювання до кінця вегетації.

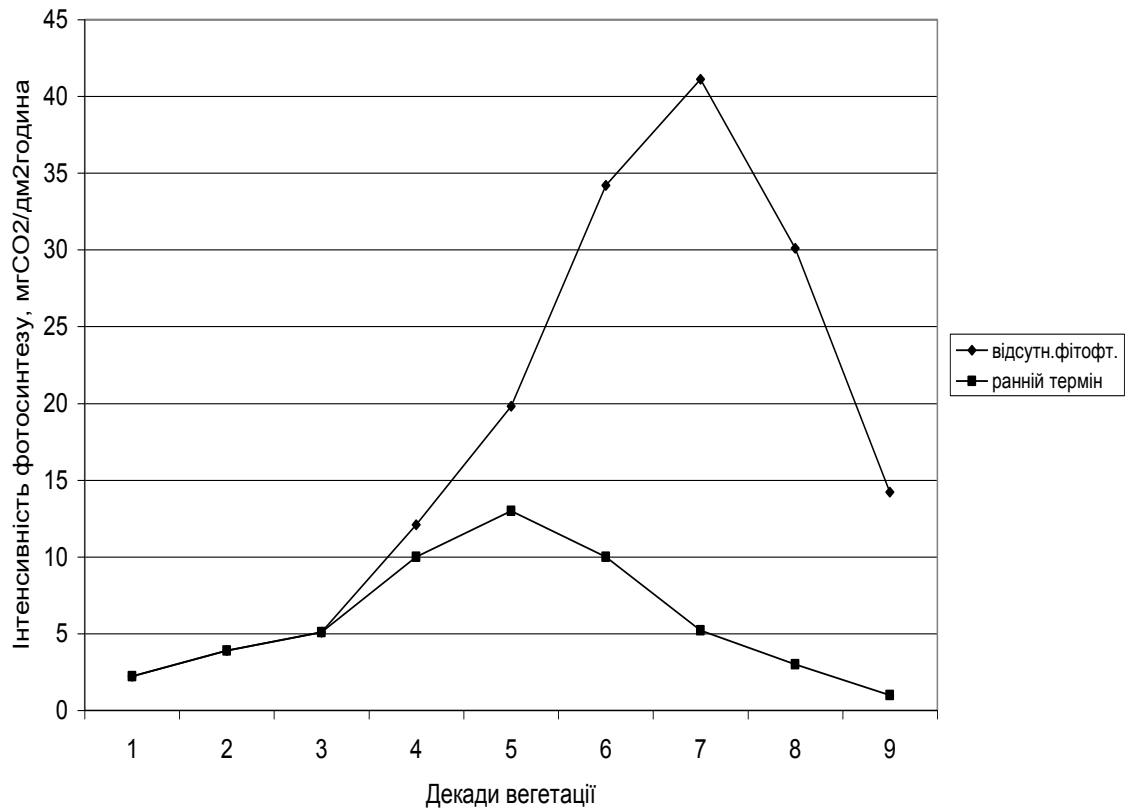


Рис. 5.2.3 – Інтенсивність фотосинтезу в Волинській області при впливі раннього терміну виникнення фітофтори та при відсутності захворювання

В результаті виконаного чисельного експерименту вдалося визначити ступінь розвитку фітофтори, з таблиці видно, що на початку вегетації ступінь розвитку фітофтори незначна і становить 15 %, а до кінця вегетації ступінь розвитку фітофтори збільшується і становить 55 %. У табл. 5.2.2 представлена функція впливу розвитку фітофтори на фотосинтез і дихання в Волинській області. З таблиці видно, що в результаті впливу першого раннього терміну розвитку захворювання картоплі фотосинтез знижується і зниження фотосинтезу відбувається до кінця вегетації. Фітофтора дуже впливає на дихання рослин картоплі, з таблиці видно, що при першому ранньому терміні виникнення захворювання функція дихання збільшується, все це говорить про те, що відбувається утруднення дихання. З табл. 5.2.2, можна зробити висновок, що перший ранній термін виникнення

захворювання, коли хвороба починається вже з першої декади вегетації в Волинській області, є дуже згубним для рослини картоплі.

Таблиця 5.2.2 - Поява фітофтори і функція впливу розвитку фітофтори на фотосинтез і дихання в Волинській області

Декади вегетації	Ознака появи фітофтори	Наявність фітофтори	Ступінь розвитку фітофтори	Функція впливу розвитку фітофтори на	
				фотосинтез	дихання
1	1,000	1,000	0,015	0,985	1,015
2	1,000	1,000	0,015	0,970	1,030
3	1,000	1,000	0,015	0,955	1,045
4	0	1,000	0,055	0,900	1,100
5	0	1,000	0,055	0,845	1,155
6	0	1,000	0,055	0,790	1,210
7	0	1,000	0	0,790	1,210
8	0	1,000	0	0,790	1,210
9	0	1,000	0	0,790	1,210

Фотосинтетична активність листя хворих рослин значно знижується в порівнянні зі здоровими. Зниження інтенсивності фотосинтезу залежить від ряду факторів: фази розвитку рослини-господаря, ступеня ураження, стану рослини при зараженні. Зміни в інтенсивності фотосинтезу, як правило, не виявляється в інкубаційний період. Однак з появою видимих ознак пошкодження інтенсивність фотосинтезу різко знижується, в ряді випадків - значно (до 32 %).

5.3 Формування врожайності картоплі при впливі середнього терміну виникнення фітофтори в Волинській області

У цьому розділі розглянемо, який вплив на врожайність картоплі надає середній термін виникнення фітофтори.

У картоплі, яка уражена хворобою уражаються окремі органи рослин: листя, стебла, бульби. У деяких випадках уражаються бутони і ягоди. Хвороба виявляється в поле спочатку на листях.

В табл. 5.3.1 представлена суха біомаса листя, стебел та коренів картоплі при впливі середнього терміну виникнення фітофтори в Волинській області

Таблиця 5.3.1 - Суха біомаса листя, стебел та коренів картоплі при впливі середнього терміну виникнення фітофтори в Волинській області

Декади вегетації	Суха біомаса (г/м ²)					
	при відсутності фітофтори			при середньому терміні виникнення фітофтори		
	листя	стебел	коренів	листя	стебел	коренів
1	6,97	6,72	4,83	5,97	5,72	3,83
2	16,96	16,35	11,12	15,96	15,35	10,12
3	32,63	31,43	20,98	31,26	30,07	19,75
4	63,64	61,30	40,51	62,76	60,45	39,95
5	122,64	118,11	77,66	105,20	101,31	66,67
6	200,3	192,89	126,55	123,27	118,71	78,05
7	189,39	182,39	119,67	112,84	108,67	71,48
8	166,55	160,40	105,28	101,79	98,04	64,52
9	144,51	139,18	91,40	91,19	87,83	57,83

З табл. 5.3.1 видно, що суха біомаса листя, стебел і коренів картоплі збільшувалася з першої по шосту декаду вегетації, як при відсутності

фітофтори, так і при середньому терміні виникнення фітофтори. Максимальна суха біомаса листя, стебел і коренів картоплі при відсутності фітофтори спостерігається в шосту декаду вегетації і становить у листя $200,3 \text{ г/м}^2$; у стебел $192,8 \text{ г/м}^2$; коріння $126,5 \text{ г/м}^2$. Максимальна суха біомаса листя, стебел і коренів картоплі при середньому терміні виникнення фітофтори спостерігається в шосту декаду вегетації і складає у листя $123,2 \text{ г/м}^2$; у стебел $118,7 \text{ г/м}^2$; у коріння картоплі $78,5 \text{ г/м}^2$.

Якщо порівняти суху біомасу листя, стебел і коренів при відсутності фітофтори, з сухою біомасою листя, стебел і коренів при впливі середнього терміну виникнення фітофтори, то різниця буде значна, у листя $77,1 \text{ г/м}^2$, у стебел $74,1 \text{ г/м}^2$, у коренів 48 г/м^2 . З таблиці, можна зробити висновок, що середній термін виникнення фітофтори згубно впливає на біомасу листя, стебел і коріння картоплі, що в подальшому може позначитись на врожайності картоплі, но менш згубний для рослин картоплі, ніж ранній термін виникнення фітофтори.

На рис. 5.3.1 представлено вплив середнього терміну виникнення фітофтори і її відсутність на площу листя картоплі в Волинській області.

З рис.5.3.1 видно, на скільки відрізняється площа листя картоплі при середньому терміні виникнення фітофтори і при відсутності фітофтори в Волинській області. При відсутності захворювання площа листя картоплі збільшувалася з першої по шосту декаду вегетації, а потім знижувалася. Максимум площі листя спостерігається в шосту декаду вегетації і становить $4,18 \text{ м}^2/\text{м}^2$. Значний вплив на площу листя надає середній термін виникнення фітофтори, при середньому терміні виникнення фітофтори площа листя картоплі збільшувалася з першої по п'яту декаду вегетації, а потім зменшувалася. Максимум площі листя картоплі при середньому терміні виникнення фітофтори спостерігається в п'яту декаду вегетації і становить $1,90 \text{ м}^2/\text{м}^2$. Якщо порівняти площу листя картоплі при середньому терміні виникнення фітофтори з площею листя картоплі при відсутності

захворювання в Волинській області, то різниця буде значна і буде складати $2,2 \text{ м}^2/\text{м}^2$.

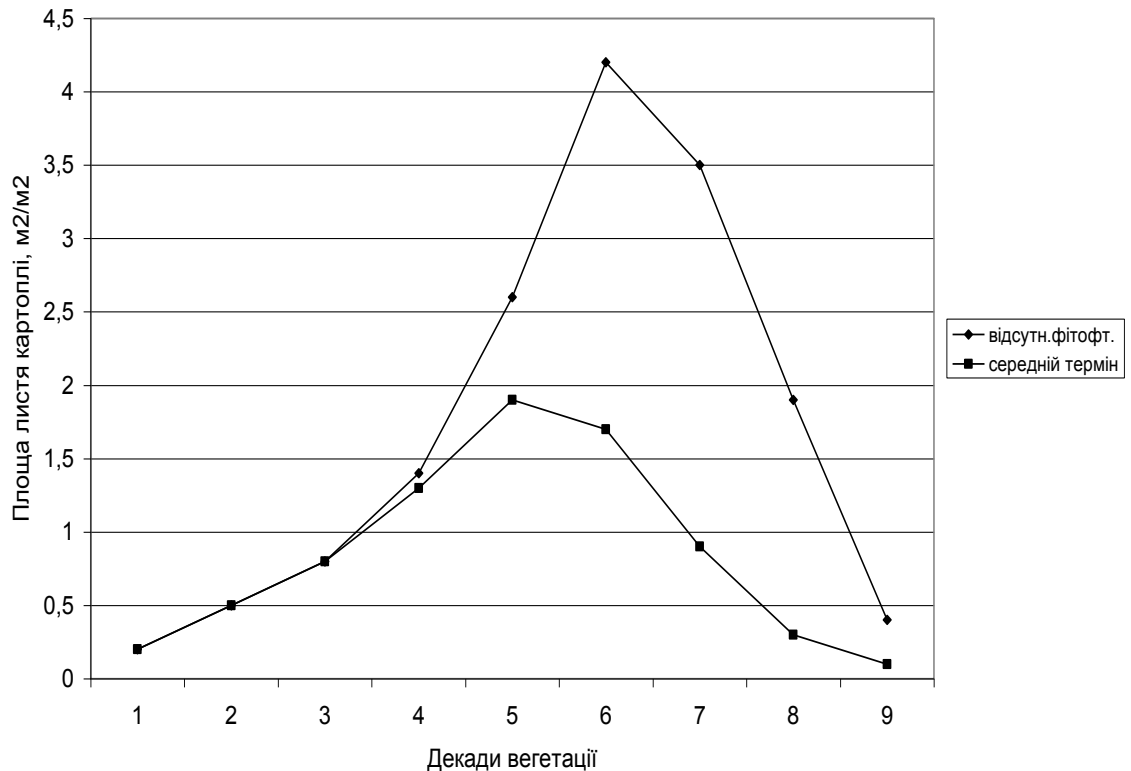


Рис. 5.3.1 – Динаміка площі листя картоплі при впливі середнього терміну виникнення фітофтори і при відсутності захворювання в Волинській області

На рис. 5.3.2 представлено вплив середнього терміну виникнення фітофтори і вплив відсутності фітофтори на суху біомасу бульб картоплі в Волинській області.

З рис. 5.3.2 видно, що суха біомаса бульб при відсутності фітофтори в Волинській області почала збільшуватися з п'ятої декади вегетації і до дев'ятої декади вегетації. Максимальна суха біомаса бульб картоплі зафіксована в дев'яту декаду вегетації і становить $1092,5 \text{ г/м}^2$. При наявності захворювання суха біомаса бульб картоплі почала збільшуватися з четвертої декади вегетації і до дев'ятої декади вегетації. Максимальна суха біомаса бульб картоплі при середньому терміні виникнення фітофтори спостерігається в дев'яту декаду вегетації і становить $492,7 \text{ г/м}^2$. В результаті отриманих даних можна зробити висновок, якщо порівняти суху біомасу

бульб картоплі при відсутності фітофтори з сухою біомасою бульб картоплі при середньому терміні виникнення фітофтори, то можна помітити, що середній термін виникнення фітофтори гнітюче діє на біомасу бульб картоплі в Волинській області.

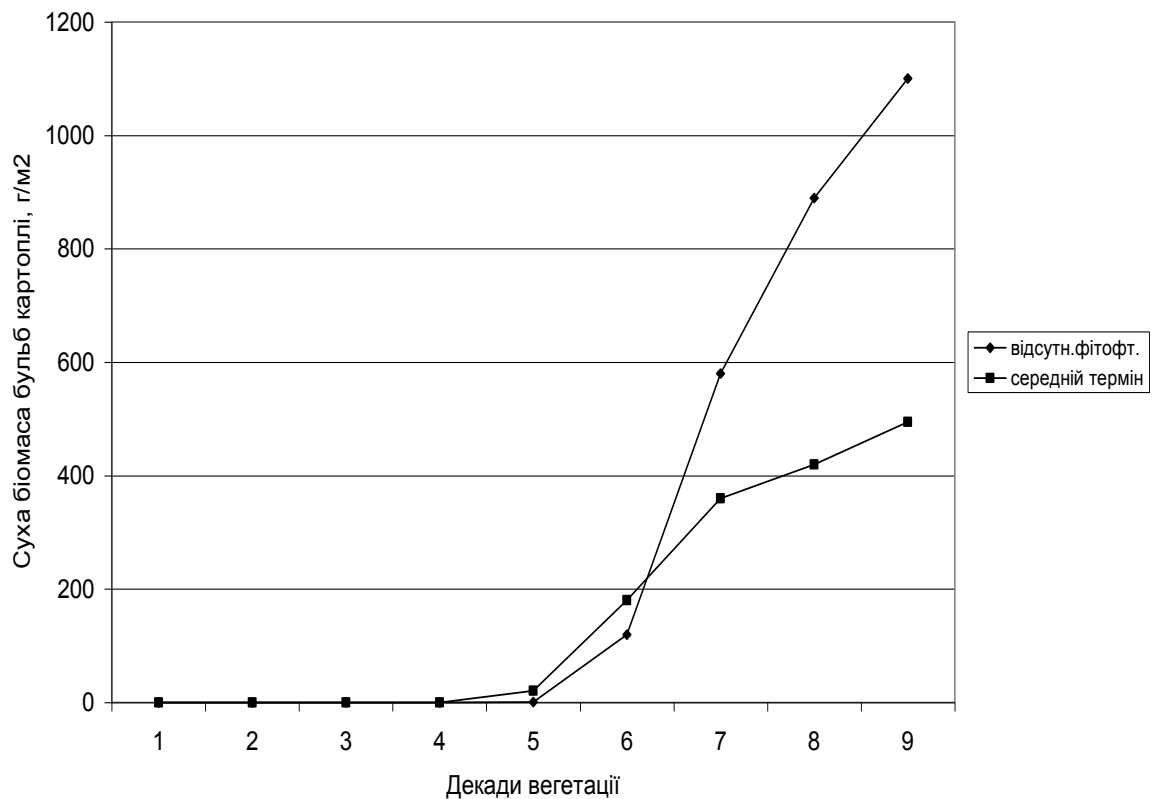


Рис. 5.3.2 – Суха біомаса бульб картоплі при впливі середнього терміну виникнення фітофтори та при відсутності фітофтори в Волинській області

На рис. 5.3.3 показано вплив середнього терміну виникнення фітофтори і вплив відсутності фітофтори на інтенсивність фотосинтезу в Волинській області.

З рис. 5.3.3 видно значна різниця між інтенсивністю фотосинтезу, при відсутності фітофтори і при впливі середнього терміну виникнення фітофтори в Волинській області. Так при відсутності фітофтори максимальна інтенсивність фотосинтезу спостерігається в сьому декаду вегетації і становить $40,8 \text{ мгСО}_2/\text{дм}^2\text{годину}$, при середньому терміні виникнення

фітофтори максимальна інтенсивність фотосинтезу спостерігається в шосту декаду вегетації і дорівнює $19,5 \text{ мгСО}_2/\text{дм}^2\text{годину}$. З рис. 5.3.3 можна зробити висновок, якщо порівняти інтенсивність фотосинтеза при відсутності фітофтори з інтенсивністю фотосинтеза при середньому терміні виникнення фітофтори в Волинській області, то різниця буде значна і буде складати $21,3 \text{ мгСО}_2/\text{дм}^2\text{годину}$.

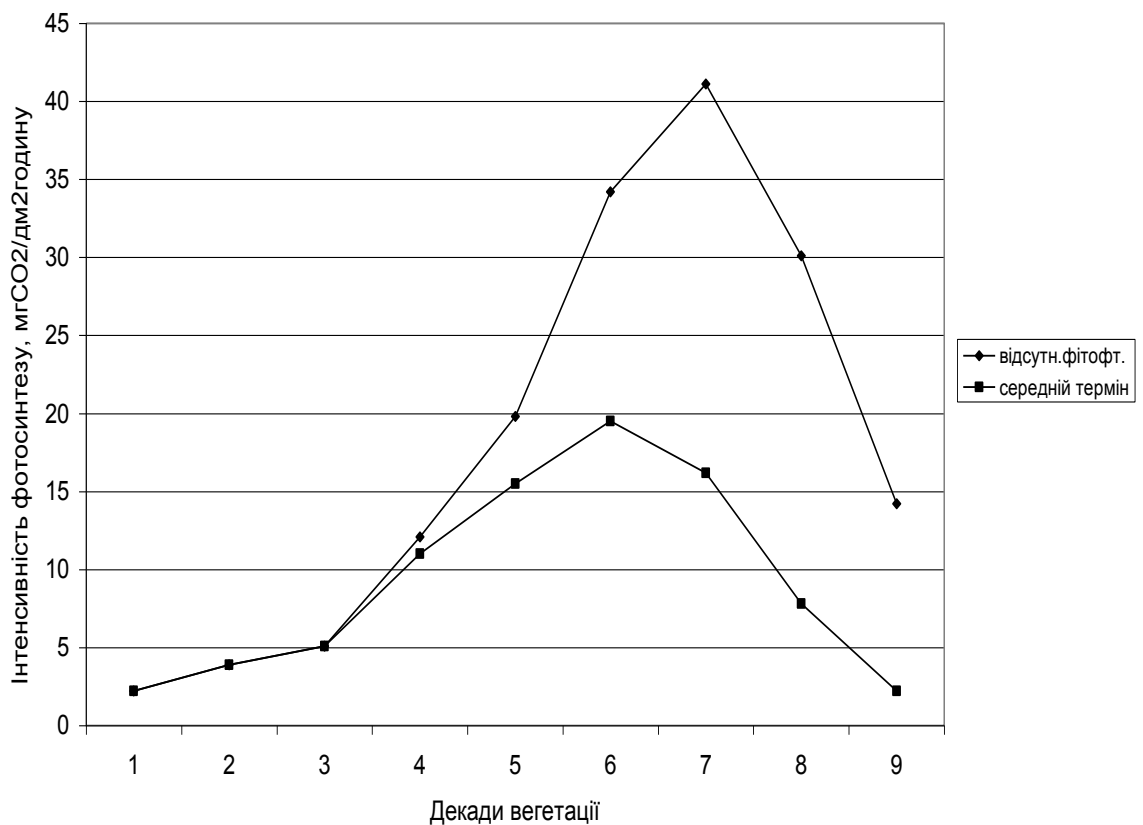


Рис. 5.3.3 – Інтенсивність фотосинтезу при впливі середнього терміну виникнення фітофтори та при відсутності фітофтори в Волинській області

Головними причинами зниження інтенсивності фотосинтезу слід вважати зниження якості хлорофілу і порушення ходу темної реакції фотосинтезу.

В табл. 5.3.2. дано визначення ознаки появи фітофтори. З таблиці видно, що фітофтора з'являється на картоплі з третьої декади вегетації і триває захворювання до кінця вегетації.

В результаті виконаного чисельного експерименту вдалося визначити ступінь розвитку фітофтори, з таблиці видно, що з третьої декади вегетації ступінь розвитку фітофтори становить 15 %, а до кінця вегетації ступінь розвитку фітофтори збільшується і становить 55 %.

Таблиця 5.3.2 - Поява фітофтори і функція впливу розвитку фітофтори на фотосинтез і дихання в Волинській області

Декади вегетації	Ознака появи фітофтори	наявність фітофтори	Ступінь розвитку фітофтори	Функція впливу розвитку фітофтори на	
				фотосинтез	дихання
1	0	0	0	1,000	1,000
2	0	0	0	1,000	1,000
3	1,000	1,000	0,015	0,985	1,015
4	0	1,000	0,055	0,930	1,070
5	0	1,000	0,055	0,875	1,125
6	0	1,000	0,055	0,820	1,180
7	0	1,000	0	0,820	1,180
8	0	1,000	0	0,820	1,180
9	0	1,000	0	0,820	1,180

В табл. 5.3.2 представлена функція впливу розвитку фітофтори на фотосинтез і дихання. З таблиці видно, що в результаті хвороби картоплі фотосинтез знижується. Фітофтора дуже впливає на дихання рослин картоплі, з таблиці видно, що функція дихання збільшується, тобто утруднене дихання.

5.4 Формування врожайності картоплі при впливі пізнього терміну виникнення фітофтори в Волинській області

У цьому розділі розглянемо, вплив третього, пізнього строку виникнення фітофтори в Волинській області. Розглянемо, який вплив надає на врожайність картоплі пізній термін виникнення фітофтори в Волинській області. Уже відомо, що ранній і середній терміни виникнення фітофтори роблять значний, згубний вплив на врожайність картоплі, особливо ранній термін виникнення захворювання. Розглянемо вплив пізнього строку виникнення захворювання в Волинській області на біомасу окремих органів картоплі і врожайності картоплі в цілому.

У табл. 5.4.1 представлена суха біомаса листя, коріння та стебел при впливі пізнього строку виникнення фітофтори в Волинській області.

З табл. 5.4.1 видно, що суха біомаса листя, стебел і коріння картоплі при впливі пізнього терміну виникнення фітофтори збільшувалася до шостої декади вегетації. Максимальна суха біомаса листя, стебел і коренів картоплі при впливі пізнього строку виникнення захворювання спостерігається в шосту декаду вегетації і становить у листя $193,30 \text{ г/м}^2$; у стебел $188,89 \text{ г/м}^2$; коріння $125,55 \text{ г/м}^2$. При відсутності фітофтори суха біомаса листя, стебел і коріння картоплі збільшувалася до шостої декади вегетації. Максимальна суха біомаса листя, стебел і коренів картоплі спостерігалася в шосту декаду вегетації і склала у листя $200,3 \text{ г/м}^2$; у стебел $192,8 \text{ г/м}^2$; суха біомаса коріння картоплі склала $126,5 \text{ г/м}^2$.

Якщо порівняти суху біомасу листя, стебел і коренів при відсутності фітофтори, з сухою біомасою листя, стебел і коренів при впливі пізнього терміну виникнення фітофтори, то різниця буде не значна, у листя 7 г/м^2 , у стебел 4 г/м^2 , у коренів 1 г/м^2 .

З таблиці, можна зробити висновок, що пізній термін виникнення фітофтори менш згубний для рослини картоплі, ніж ранній і середній терміни виникнення фітофтори в Волинській області.

Таблиця 5.4.1 - Суха біомаса листя, стебел та коренів картоплі при впливі пізнього строку виникнення фітофтори в Волинській області

Декади вегетації	Суха біомаса (г/м ²)					
	при відсутності фітофтори			при впливі пізнього строку виникнення фітофтори		
	листя	стебел	коренів	листя	стебел	коренів
1	6,97	6,72	4,83	5,97	5,72	3,83
2	16,96	16,35	11,12	15,96	15,35	10,12
3	32,63	31,43	20,98	31,63	30,43	19,98
4	63,64	61,30	40,51	61,64	57,30	37,51
5	122,64	118,11	77,66	119,64	114,11	75,66
6	200,3	192,89	126,55	193,30	188,89	125,55
7	189,39	182,39	119,67	187,40	180,48	117,42
8	166,55	160,40	105,28	163,98	157,81	103,56
9	144,51	139,18	91,40	142,62	133,17	86,36

На рис. 5.4.1 представлено вплив пізнього строку виникнення фітофтори і вплив відсутності фітофтори на площу листя картоплі в Волинській області.

З рис. 5.4.1 видно, що площа листя картоплі при відсутності фітофтори і при пізньому терміні виникнення фітофтори збільшувалась з першої по шосту декаду вегетації, а потім зменшувалася до дев'ятої декади вегетації в Волинській області. Площа листя картоплі при відсутності фітофтори майже не відрізняється від площі листя картоплі при пізньому терміні виникнення фітофтори. Це говорить про те, що пізній термін виникнення фітофтори менш згубний для рослин картоплі, ніж ранній і середній терміни виникнення фітофтори в Волинській області.

На рис. 5.4.2 представлено вплив пізнього строку виникнення фітофтори і вплив відсутності фітофтори на суху біомасу бульб картоплі в Волинській області.

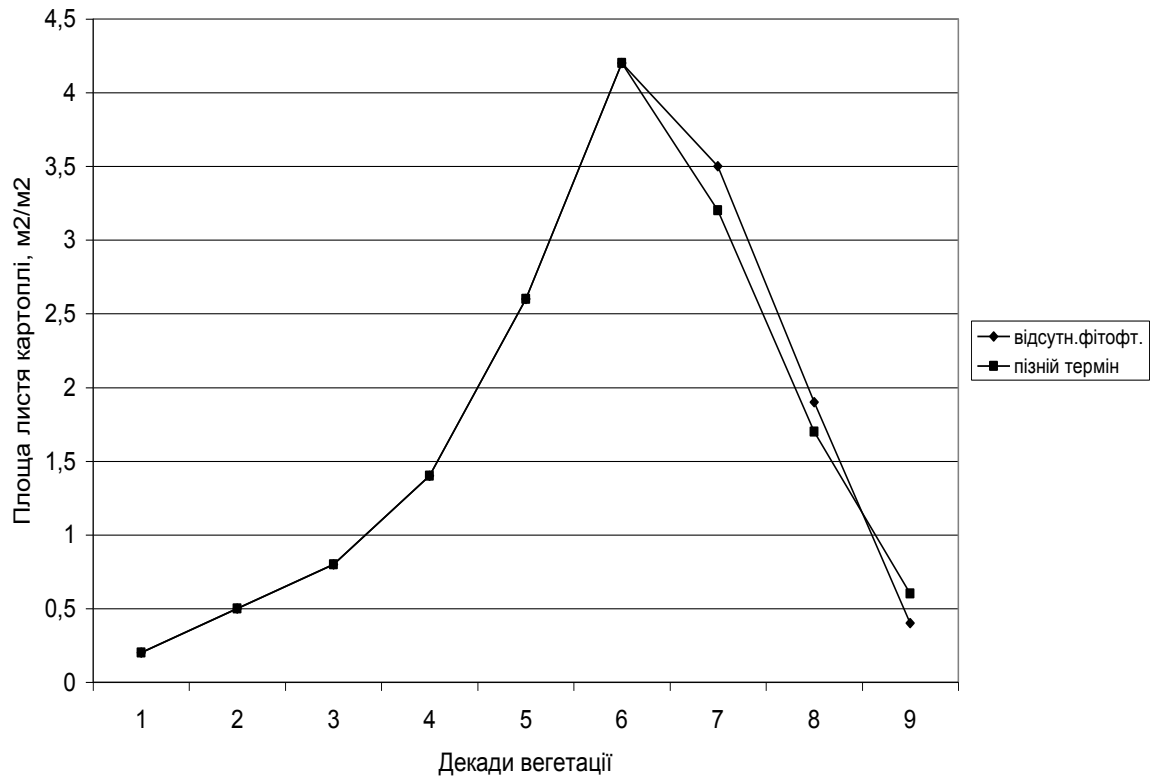


Рис. 5.4.1 – Динаміка площі листя картоплі при впливі пізнього терміну виникнення фітофтори і при відсутності фітофтори в Волинській області

З рис. 5.4.2 видно, що суха біомаса бульб картоплі почала збільшуватися при відсутності фітофтори з п'ятої декади вегетації і до дев'ятої декади вегетації в Волинській області. Максимальна суха біомаса бульб картоплі при відсутності фітофтори зафіксована в дев'яту декаду вегетації і становить $1092,5 \text{ г/м}^2$. При пізньому терміні виникнення фітофтори суха біомаса бульб картоплі почала також збільшуватися з п'ятої декади вегетації і до дев'ятої декади вегетації. Максимальна суха біомаса бульб картоплі при пізньому терміні виникнення фітофтори припадає на дев'яту декаду вегетації і становить $822,1 \text{ г/м}^2$. В результаті отриманих даних можна зробити висновок, що пізній термін виникнення фітофтори впливає на

суху біомасу бульб картоплі, але він менш згубний, ніж середній і ранній термін виникнення фітофтори. Якщо порівняти суху біомасу бульб картоплі без впливу фітофтори з сухою біомасою бульб картоплі при пізньому терміні виникнення фітофтори, то різниця буде складати 270 г/м².

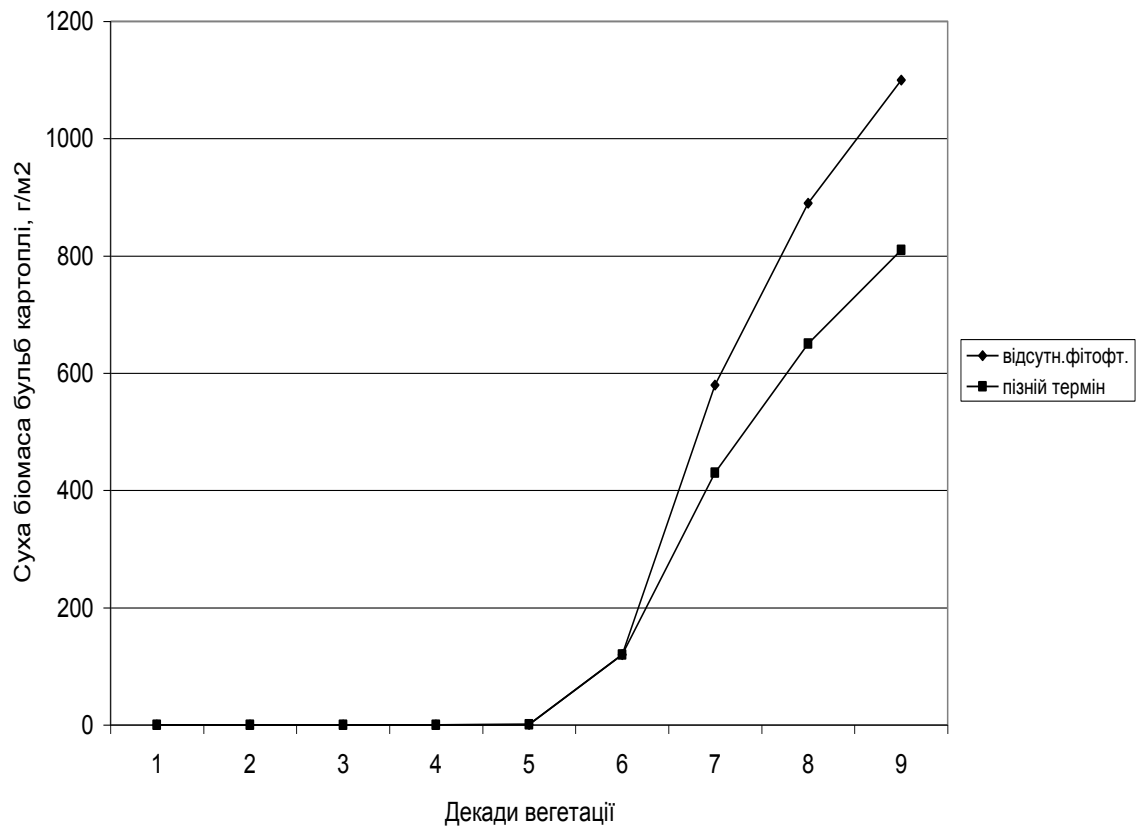


Рис. 5.4.2 – Суха біомаса бульб картоплі при впливі пізнього терміну виникнення фітофтори та при відсутності фітофтори в Волинській області

На рис. 5.4.3 показано вплив пізнього строку виникнення фітофтори і вплив відсутності фітофтори в Волинській області на інтенсивність фотосинтезу.

З рис. 5.4.3 видно, що інтенсивність фотосинтезу почала збільшуватися з першої до сьомої декади вегетації при відсутності фітофтори в Волинській області. При пізньому терміні виникнення фітофтори інтенсивність фотосинтезу почала збільшуватися з першої по шосту декаду вегетації. З рис. 5.4.3 видно, що є не значна різниця між інтенсивністю фотосинтезу, при відсутності фітофтори і при впливі пізнього терміну виникнення фітофтори в

Волинській області. Так при відсутності фітофтори максимальна інтенсивність фотосинтезу становить 40,8 мгСО₂/дм²година, при впливі пізнього терміну виникнення фітофтори максимальна інтенсивність фотосинтезу дорівнює 32,4 мгСО₂/дм²година.

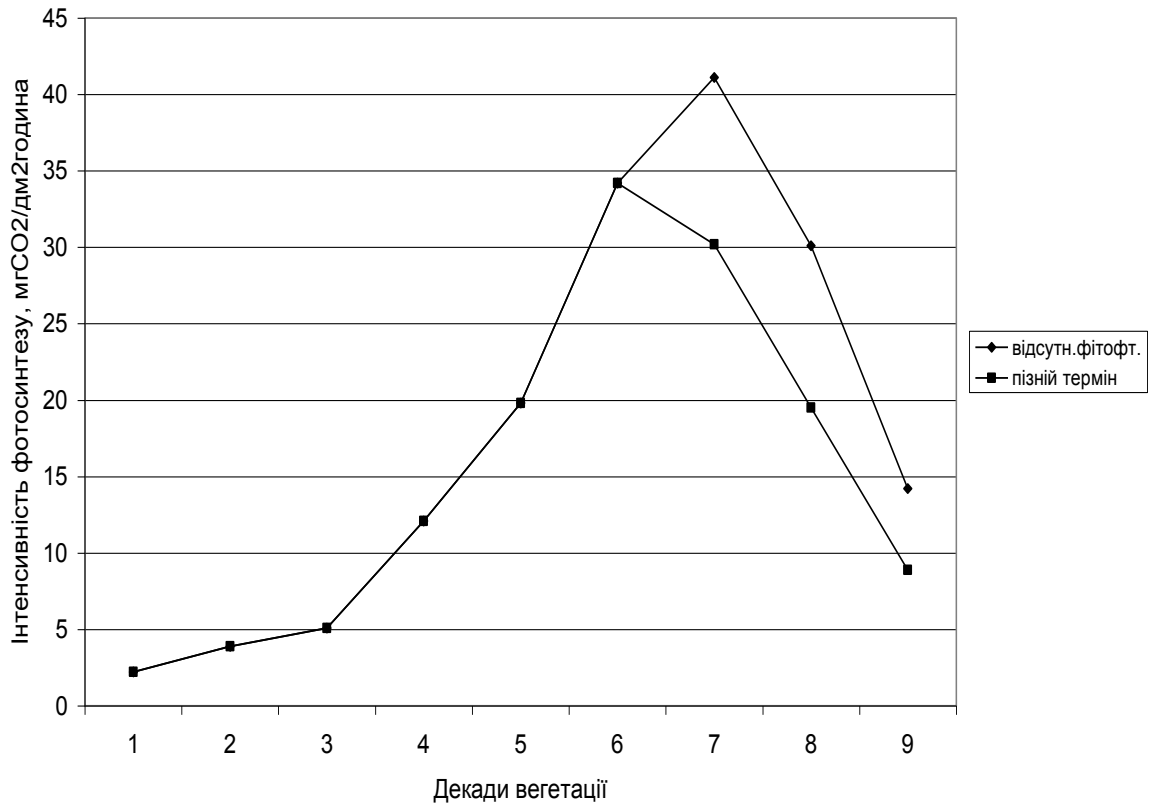


Рис. 5.4.3 – Інтенсивність фотосинтезу при впливі пізнього терміну виникнення фітофтори та при відсутності фітофтори в Волинській області

В табл. 5.4.2. дано визначення ознаки появи фітофтори в Волинській області.

З таблиці видно, що фітофтора з'являється на картоплі з сьомої декади вегетації і триває захворювання до кінця вегетації. В результаті виконаного чисельного експерименту вдалося визначити ступінь розвитку фітофтори в Волинській області, з таблиці видно, що з сьомої декади вегетації ступінь розвитку фітофтори була значна і становила 15% і до кінця вегетації ступінь розвитку фітофтори не змінилася і залишилася рівною 15%.

В табл., 5.4.2 представлена функція впливу, розвитку фітофтори на фотосинтез і дихання в Волинській області. З таблиці видно, що в результаті хвороби, яка була викликана в результаті пізнього строку виникнення захворювання, фотосинтез знижується в кінці вегетації, до цього фотосинтез не змінюється.

Таблиця 5.4.2 - Поява фітофтори і функція впливу розвитку фітофтори на фотосинтез і дихання

Декади вегетації	Ознака появи фітофтори	Наявність фітофтори	Ступінь розвитку фітофтори	Функція впливу розвитку фітофтори на	
				фотосинтез	дихання
1	0	0	0	1,000	1,000
2	0	0	0	1,000	1,000
3	0	0	0	1,000	1,000
4	0	0	0	1,000	1,000
5	0	0	0	1,000	1,000
6	0	0	0	1,000	1,000
7	1	1	0,015	0,985	1,015
8	1	1	0,015	0,970	1,030
9	1	1	0,015	0,955	1,045

Фітофтора дуже впливає на дихання рослин картоплі, з таблиці видно, що в кінці вегетації функція дихання при пізньому терміні виникнення захворювання збільшується, це говорить про те, що відбувається утруднення дихання.

В кінці цього розділу дипломного проекту, за результатами чисельного експерименту можна зробити висновок, що пізній термін виникнення фітофтори в Волинській області надає не значний вплив на рослини картоплі, цей термін виникнення фітофтори менш згубний для рослин картоплі, ніж

ранній термін виникнення фітофтори, при якому знищується на 30% більше бульб картоплі.

ВИСНОВКИ

При виконанні дипломного проекту були отримані основні результати:

1. Вивчено біологічні особливості картоплі і її вимоги до факторів зовнішнього середовища.
2. Освоєно методи кількісного опису впливу температури повітря і вологозабезпечення на формування врожаю картоплі. Вивчено структуру динамічної моделі формування врожаю картоплі.
3. У численних експериментах за допомогою розрахунків по моделі виконана оцінка впливу різних термінів виникнення фітофтори на формування врожаю картоплі в Волинській області.
4. Проведено порівняльну характеристику різних термінів виникнення фітофтори і її відсутності на формування врожаю картоплі в Волинській області.
5. За допомогою численних експериментів визначена площа листя картоплі (при відсутності фітофтори максимальна площа листя спостерігалася в шосту декаду вегетації і склала $4,18 \text{ м}^2/\text{м}^2$; при ранньому терміні виникнення фітофтори площа листя становила $1,15 \text{ м}^2/\text{м}^2$; при середньому терміні виникнення фітофтори площа листя становила $1,90 \text{ м}^2/\text{м}^2$; при пізньому терміні виникнення фітофтори площа листя становила $4,18 \text{ м}^2/\text{м}^2$).
6. За допомогою численних експериментів визначена інтенсивність фотосинтезу (при відсутності фітофтори максимальна склала $40,8 \text{ мгСО}_2/\text{дм}^2\text{година}$; при ранньому терміні виникнення фітофтори - $12,8 \text{ мгСО}_2/\text{дм}^2\text{година}$; при середньому терміні виникнення фітофтори - $19,5 \text{ мгСО}_2/\text{дм}^2\text{година}$; при пізньому терміні виникнення фітофтори - $32,4 \text{ мгСО}_2/\text{дм}^2\text{година}$).
7. Визначена суха біомаса листя, стебел, коренів і бульб картоплі при відсутності фітофтори в Волинській області та при різних термінах виникнення фітофтори. Суха біомаса бульб в Волинській області при

відсутності захворювання дорівнювала $1092,5 \text{ г/м}^2$; при ранньому терміні виникнення фітофтори - $347,8 \text{ г/м}^2$; при середньому терміні виникнення фітофтори - $492,7 \text{ г/м}^2$; при пізньому терміні виникнення фітофтори - $822,1 \text{ г/м}^2$.

8. Визначено ступінь розвитку фітофтори, час появи захворювання і функція впливу розвитку захворювання на фотосинтез і дихання. При більш пізніх термінах виникнення фітофтори захворювання починає прогресувати вже з першої декади вегетації, ступінь розвитку фітофтори на початку вегетації становить 15 %, а до кінця вегетації збільшується і становить 55 %; при середньому терміні виникнення фітофтори захворювання починається з третьої декади вегетації, ступінь розвитку фітофтори становить 15 %, потім збільшується і становить 55 %; при пізньому терміні виникнення фітофтори захворює з сьомої декади вегетації, ступінь розвитку фітофтори становить 15 %.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Агроклиматический справочник по Волынской обл. :Госсельхозиздат УРСР. –К.,1959. –с.7-58.
2. Бихеле З.Н., Молдау Х.А., Росс Ю.К. Математическое моделирование транспирации и фотосинтеза растений при недостатке почвенной влаги – Л.: Гидрометеиздат, 1980. -223 с.
3. Бондлер Б.А. Влияние температуры, солнечной радиации и фотопериода на развитие растений и урожая // Рост и развитие картофеля. – М., 1966.
4. Вольвач В.В. Методическое пособие гидрометеорологическим станциям и постам по прогнозированию сроков развития колорадского жука / Под ред. док. геогр. наук А.П. Федосеева. – М.: Гидрометеиздат, 1975. –с.6.
5. Джеймс В. Дыхание растений. – М.: Изд-во иностранной литературы, 1956. -439 с.
6. Заброда О.К., Абашина Е.В Идентификация параметров модели «погода-урожай» для расчетов урожая картофеля // Труды ИЭМ. – 1979. – Вып. 12 (90). –с.89-96.
7. Закржевский П.И. Методика расчета влияния динамики влагозапасов на урожай пропашных сельскохозяйственных культур // Мелиорация и освоение земель. – 1973. – Т. 105. –с. 40-45.
8. Картофель / Под редакцией Н.С. Бацанова. –М.: Колос 1970.
9. Куперман И.А., Хитрово Е.В. Дыхательный газообмен как элемент продукционного процесса растений. –Новосибирск: Наука, 1977. - 181 с.
10. Лорх А.Г. Динамика накопления урожая картофеля. –М.: Сельхозгиз, 1948. – 191 с.
11. Лорх А.Г. О картофеле. –М.: Сельхозгиз, 1960. -151 с.
12. Максимович М.М. О методах и приемах улучшения семенного картофеля // Картофель, 1962.

13. Математическое моделирование в агрометеорологии // Труды ВНИИСХМ. -1990. –Вып. 26. с.77.
14. Менжулин Г.В. Методы расчета фотосинтеза растительных сообществ при достаточном увлажнении // Труды ГТО. -1968. –с.5-35.
15. Мищенко З.А. Суточный ход температуры воздуха и его агроклиматическое значение. –Л.: Гидрометеиздат, 1962. -200 с.
16. Мокроносов А.Т. Передвижение и использование продуктов фотосинтеза во вторичных синтетических процессах // Физиология сельскохозяйственных растений. –М.: Изд-во МГУ, 1971. –Т. 12. –с. 129-156.
17. Муш Н.Н. О взаимодействии гетеротрофного и автотрофного питания в онтогенезе зеленого растения // Труды Харьковского СХИ, 1959. – Т. 19. –с. 77-98.
18. Набока В.В. Идентификация параметров модели «погода-урожай» для культуры картофеля в условиях Западной Сибири // Труды ЗСРНИИ. – М.: Гидрометеиздат, 1983. –Вып. 58. –с.44-54.
19. Носов А.К., Лемаева А.М. О взаимодействии в онтогенезе картофеля материнского клубня и развивающегося из него растения // Изв. АН Туркменской ССР. -1955. –Вып.1. –с.47-55.
20. Пенман Х.Л. Значение погодных условий и воды для роста и развития картофеля // Рост и развитие картофеля. –М.: 1966.
21. Полевой А.Н. Агрометеорологические условия и продуктивность картофеля в Нечерноземье. –Л.: Гидрометеиздат, 1978.
22. Полевой А.Н. Динамическая модель формирования урожая картофеля // Метеорология и гидрология. -1978. -№ 7. с.79-85.
23. Полевой А.Н. Модель формирования урожая картофеля // Экспресс-информация. Метеорология. –Обнинск, ВНИИГМИ МЦД, 1978. – Вып. 1(51). –с.21-28.
24. Полевой А.Н. Прикладное моделирование и прогнозирование продуктивности посевов. –Л.: Гидрометеиздат, 1988. с.186.

25. Полевой А.Н. Теория и расчет продуктивности посевов. –Л.: Гидрометеиздат, 1983. -286 с.
26. Полевой А.Н., Вольвач И.Е. Динамическая модель формирования урожая озимой пшеницы // Экспресс-информация ВНИИГМИ МЦД. – Обнинск, 1978. –Вып. 1 (51). –с.28-35.
27. Полевой А.Н., Вольвач И.Е. Метод агрометеорологического прогноза урожайности льноволокна в СССР // Труды ВНИИСХМ, 1986. – Вып. 18. –с.14-24.
28. Поповская О.М. Методика оценки агрометеорологических условий произрастания картофеля в Центральных областях Европейской территории СССР // Сборник методических указаний по анализу и оценке агрометеорологических условий. –Л.: Гидрометеиздат, 1957. –с. 28-45.
29. Росс Ю.К., Бихеле З. Расчет фотосинтеза растительного покрова // Фотосинтез и продуктивность растительного покрова. – Тарту: Изд-во ИФА АН ЭССР, 1968. –с. 46-74.
30. Рубин Б.А., Арциховская Е.В., Озерецковская О.Л. Дыхание растений // Физиология сельскохозяйственных растений. –М.: Изд-во МГУ, 1967. –Т.1. –с. 354-493.
31. Руденко А.И. Некоторые итоги и пути изучения климата культурных растений (картофель) // Труды Всесоюзного научно-метеорологического совещания. - Л.: Гидрометеиздат, 1983.
32. <http://disser.com.ua>