

УДК 633/63–047.58:551.5

КАРПУК Л.М., КРИКУНОВА О.В., кандидати с.-г. наук

Білоцерківський національний аграрний університет

ПРИСЯЖНЮК О.І., канд. с.-г. наук

Інститут біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН

ПОЛІЩУК В.В., канд. с.-г. наук

Уманський національний університет садівництва

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ РОСТУ ТА РОЗВИТКУ БУРЯКІВ ЦУКРОВИХ ЗАЛЕЖНО ВІД КОМПЛЕКСНОГО ВПЛИВУ КЛІМАТИЧНИХ ФАКТОРІВ

Представлено результати моделювання процесів росту та розвитку буряків цукрових залежно від комплексного впливу кліматичних факторів. Згідно з результатами досліджень з вивчення впливу погодних умов на ріст, розвиток рослин і продуктивність цукрових буряків, з використанням позакореневого підживлення мікроелементами та вирощуванням гібридів найдовшого періоду вегетації за оптимальної густоти насадження – 100 тис./га, було розроблено математичні моделі росту і розвитку культури. У ході аналізу отримано високі коефіцієнти множинної регресії (0,85–0,97), а також коефіцієнти детермінації (0,73–0,93), що свідчить не тільки про наявність зв'язку між досліджуваними ознаками, а й про те що експериментальні дані доволі точно описуються реальним рівнянням.

Ключові слова: буряки цукрові, процеси росту і розвитку, математичне моделювання, кліматичні фактори.

Постановка проблеми. На агроценоз в цілому діє низка абіотичних та біотичних факторів, які характеризуються складними функціональними взаємозв'язками. В кінцевому підсумку технологія вирощування цукрових буряків, як і інших сільськогосподарських культур, спрямована на отримання високоякісної продукції. Однак, повномірною реалізацією цього завдання можлива лише за умови рішення сукупності задач окремими елементами системного процесу, які є ключовими для досягнення поставленої мети і які неможливо дослідити повною мірою без застосування методів математичного моделювання.

У ракурсі моделювання рослинних систем основною матрицею даних для побудови обчислювальних алгоритмів механізмів та закономірностей функціонування посівів бурякової сівозміни є числове вираження показників біологічних процесів, які є функцією адитивної дії абіотичних, біотичних та антропогенних факторів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Останнім часом створенню математичних моделей присвячені роботи багатьох вітчизняних та закордонних вчених, однак, варто відмітити, що багато створених моделей мають опосередковану прив'язку до умов навколишнього середовища і в переважній більшості просто моделюють деякі залежності між продуктивністю та кількістю внесених мінеральних добрив, або ж різними структурними елементами рослини, тощо. Такі підходи до створення математичних моделей росту та розвитку рослин на нашу думку є хибними і потребують подальшого вдосконалення. А зокрема: потрібно більше уваги приділяти вивченню впливу кліматичних умов, таких як сума активних температур, кількість опадів, ГТК на ріст та розвиток рослин, використовувати комплексні математичні моделі, та проводити перевірку точності отриманих результатів [1–5].

Отримані математичні моделі можуть бути використані не тільки для імітаційного моделювання та прогнозування процесів росту та розвитку рослин цукрових буряків, а й для напрацювання баз даних управління продукційним процесом вирощування цукрових буряків.

Мета досліджень – розробити математичні моделі росту та розвитку буряків цукрових залежно від комплексного впливу кліматичних факторів.

Методика досліджень. Експериментальні дослідження проводили на дослідному полі Білоцерківського національного аграрного університету (Білоцерківський НАУ) впродовж 2011–2014 рр.

Технологія вирощування цукрових буряків на дослідних ділянках була загальноприйнятою для Лісостепу України, за виключенням елементів що вивчалися.

Для встановлення відмінностей між утворенням рослинами буряків цукрових листової маси та коренеплодів, ми опрацювали за допомогою методів множинної регресії дані з дослідів по вивченню впливу позакореневого підживлення рослин буряків цукрових мікроелементами з використанням гібридів найдовшого періоду вегетації за оптимальної густоти стояння рослин –

100 тис./га. Завданням цього досліду є встановлення максимально можливої урожайності коренеплодів, гібридів цукрових буряків найдовшого періоду вегетації, з високою цукристістю в умовах нестійкого зволоження.

Схема досліду передбачала дослідження таких факторів: фактор А – гібрид: Український ЧС 72, Леопард; фактор В – фаза внесення мікроелементів: без підживлення, змикання листків у рядку + змикання листків у міжряддях (136 днів від сівби); фактор С – норма внесення, л/га: 5.

Площа посівної ділянки – 64,8 м², облікової – 54,0 м², повторність – чотириразова. Розміщення варіантів у повторенні – рендомізоване, повторення – у два яруси.

Аналіз отриманих експериментальних даних, та встановлення параметрів регресійних рівнянь проводили відповідно до стандартних методик з використанням програми Statistica.

Для проведення моделювання росту цукрових буряків ми використовували множинні регресійні рівняння, що передбачають створення стандартної лінійної моделі виду:

$$Y = a_0 + a_1X_1 + a_2X_2 + a_3X_3 + \dots + a_nX_n,$$

де $a_0, a_1, a_2, \dots, a_n$ – параметри рівняння множинної регресії;

$X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$ – факторні ознаки.

Уточнене регресійне рівняння можна описати наступною формулою:

$$Y = a_0 + a_1X_1 + a_2X_2.$$

Результати досліджень та їх обговорення. На основі проведених досліджень і вивчення впливу опадів та суми активних температур повітря на масу коренеплодів буряків цукрових встановлено, що коефіцієнт множинної регресії високий (0,97), а також високий і коефіцієнт детермінації (0,93), який показує наскільки точно експериментальні дані описуються реальним рівнянням (табл. 1).

Як показують результати попередніх досліджень з аналізу впливу комплексу агроекологічних факторів на масу коренеплодів буряків цукрових, станом на 01.07, позакореневе підживлення дозволяє отримати подібну реакцію рослин на зміни погодно-кліматичних умов у більш пізні строки (станом на 01.09).

Таблиця 1 – Параметри рівняння множинної регресії маси коренеплодів буряків цукрових від комплексу агроекологічних факторів (01.09), г (середнє за 2011–2014 рр.)

Показник	Значення
Коефіцієнт множинної кореляції (Multiple R)	0,97
Коефіцієнт детермінації (Multiple R²)	0,93
Скоректований коефіцієнт детермінації (Adjusted R²)	0,93
Ф-критерій (2,93)	317,65
Ймовірність нульової гіпотези для F-критерію	0,00
Стандартна помилка оцінки (рівняння)	353,01

Отже, отримане нами наступне рівняння регресії, яке визначає залежність маси коренеплодів буряків цукрових (МК) від кількості опадів за попередній місяць (О) та суми активних температур (Т): $МК = -8519,83 + 263,76 Т - 15,33О$. Всі коефіцієнти рівняння значимі на 5% рівні ($p\text{-level} < 0,05$). Це рівняння пояснює 93% ($R^2 = 0,93$) варіації залежної змінної (табл. 2).

Таблиця 2 – Результати регресійного аналізу впливу комплексу агроекологічних факторів на масу коренеплодів буряків цукрових (станом на 01.09) (середнє за 2011–2014 рр.)

Показник	Коефіцієнт рівняння	Стандартна помилка β - коефіцієнта	Коефіцієнт рівняння регресії	Стандартна помилка коефіцієнта рівняння регресії	t-критерій	Ймовірність нульової гіпотези
Вільний член рівняння			-8519,83	952,39	-8,95	0,00
Сума активних температур (серпень), С	0,83	0,04	263,76	13,54	19,47	0,00
Кількість опадів (серпень), мм	-0,26	0,04	-15,33	2,48	-6,19	0,00

У результаті проведених досліджень і вивчення впливу опадів та суми активних температур повітря на масу листків буряків цукрових станом на 01.09 встановлено, що коефіцієнт множинної регресії доволі високий (0,85), а також високий і коефіцієнт детермінації (0,71), який показує наскільки точно експериментальні дані описуються реальним рівнянням (табл. 3).

Таблиця 3 – Параметри рівняння множинної регресії маси листків буряків цукрових від комплексу агроекологічних факторів (01.09), г

Показник	Значення
Коефіцієнт множинної кореляції (Multiple R)	0,85
Коефіцієнт детермінації (Multiple R ²)	0,73
Скоректований коефіцієнт детермінації (Adjusted R ²)	0,71
F-критерій (2,93)	59,43
Ймовірність нульової гіпотези для F-критерію	0,00
Стандартна помилка оцінки (рівняння)	535,86

Параметри рівняння регресії, яке визначає залежність маси листків буряків цукрових (МЛ) від кількості опадів за попередній місяць (О) та суми активних температур (Т) наступні: $MJ = 16017,05 - 173,18T + 10,07O$. Всі коефіцієнти рівняння значимі на 5% рівні ($p\text{-level} < 0,05$). Це рівняння пояснює 71% ($R^2 = 0,71$) варіації залежної змінної (табл. 4).

Таблиця 4 – Результати регресійного аналізу впливу комплексу агроекологічних факторів на масу листків буряків цукрових (станом на 01.09)

Показник	Коефіцієнт рівняння	Стандартна помилка помилка β - коефіцієнта	Коефіцієнт рівняння регресії	Стандартна помилка коефіцієнта рівняння регресії	t-критерій	Ймовірність нульової гіпотези
Вільний член рівняння			16017,05	1445,69	11,08	0,00
Сума активних температур (серпень), С	-0,73	0,09	-173,18	20,56	-8,42	0,00
Кількість опадів (серпень), мм	0,23	0,09	10,07	3,76	2,68	0,01

Висновки. На основі проведених досліджень з вивчення впливу погодних умов на ріст, розвиток рослин і продуктивність цукрових буряків з використанням позакореневого підживлення мікроелементами та вирощуванням гібридів найдовшого періоду вегетації за оптимальної густоти насадження – 100 тис./га розроблено математичні моделі росту і розвитку культури. У ході аналізу отримано високі коефіцієнти множинної регресії (0,85–0,97), а також коефіцієнти детермінації (0,73–0,93), що свідчить не тільки про наявність зв'язку між досліджуваними ознаками, а й про те що експериментальні дані доволі точно описуються реальним рівнянням. Отримані нами моделі свідчать про взаємозв'язок між масою коренеплодів та листків залежно від суми активних температур та опадів у період вегетації, і дозволяють з високим рівнем точності спрогнозувати параметри даних показників рослин буряків цукрових.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Хомяков Д. М. Основы системного анализа / Д. М. Хомяков, П. М. Хомяков. – М.: Изд-во мех.-мат. ф-та. МГУ, 1996. – 107 с.
2. Вергунова І. М. Математичні моделі поверхневого забруднення у ґрунтах: навч. посібник / І. М. Вергунова. – К.: ННЦ «ІАЕ», 2008. – 148 с.
3. Чабан Г.В. Моделювання як метод прогнозування в сільському господарстві / Г.В. Чабан // Зб. наук. пр. Черкаського держ. техн. ун. – Сер.: Економічні науки. – 2003. – Вип.11. – С. 284–289.
4. Бродський Ю. Б. Економіко-математична модель оптимізації виробничої структури високотоварних сільськогосподарських підприємств / Ю. Б. Бродський, В. Є. Данкевич // Вісник Житомирського держ. техн. ун. № 1 (55). – 2011. – С. 180–183.
5. Тюрин Ю. П. Анализ данных на компьютере / Ю. П. Тюрин, А. А. Макаров. – М.: ИНФРА-М, Финансы и статистика, 1995. – 384 с.

REFERENCES

1. Homjakov D. M., Homjakov P. M. (1996). *Osnovy sistemnogo analiza [Basics of system analyzes]*. M.: Izd-vo meh.-mat. f-ta. MGU [in Russian].
2. Vergunova I. M. (2008). *Matematychni modeli poverhneвого zabrudnennja u gruntah [Mathematical models of surface contamination in soils]*: Navch. Posibnyk. – K.: NNC «IAE» [in Ukrainian].
3. Chaban G.V. (2003). *Modeljuvannja jak metod prognozuvannja v sil's'komu gospodarstvi [Modelling as a method of forecasting in agriculture]* / G.V. Chaban // Zb. nauk. pr. Cherkaskogo derzh. tehn. un. – Ser.: Ekonomichni nauky [in Ukrainian].
4. Brodskij Ju. B. (2011). *Ekonomiko-matematyczna model' optyimizacii' vyrobnychoi' struktury vysokotovarnyh sil's'kogospodars'kyh pidpryjemstv [Economical mathematical model of agricultural enterprisers productivity structure optimization]* / Ju. B. Brodskij, V. Je. Dankevych // Visnyk Zhytomyr's'kogo derzh. tehn. un [in Ukrainian].
5. Tjurin Ju. P., Makarov A. A. (1995). *Analiz dannyh na komp'jutere [Data analysis on the computer]*. – M.: INFRA-M, Finansy i statistika [in Russian].

Моделирование процессов роста и развития свеклы сахарной в зависимости от комплексного влияния климатических факторов

Л.М. Карпук, Е.В. Крикунова, О.И. Присяжнюк, В.В. Полищук

Представлены результаты моделирования процессов роста и развития сахарной свеклы в зависимости от комплексного воздействия климатических факторов. Согласно результатам исследований по изучению влияния погодных условий на рост, развитие растений и продуктивность сахарной свеклы с использованием внекорневой подкормки микроэлементами и выращиванием гибридов длинного периода вегетации при оптимальной густоте насаждения – 100 тыс./га, были разработаны математические модели роста и развития культуры. В ходе анализа получены высокие коэффициенты множественной регрессии (0,85-0,97), а также коэффициенты детерминации (0,73-0,93), что свидетельствует не только о наличии связи между исследуемыми признаками, но и о том, что экспериментальные данные достаточно точно описываются реальным уравнением.

Ключевые слова: свекла сахарная, процессы роста и развития, математическое моделирование, климатические факторы.

Надійшла 11.10.2014 р.