

ПРИМЕНЕНИЕ СТАТИСТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ПРИ АНАЛИЗЕ УРОЖАЙНОСТИ ПЕРЦА СЛАДКОГО

МЯГКОВА Елена Георгиевна, ФГБНУ «Прикаспийский аграрный федеральный научный центр Российской академии наук»

Приводятся результаты изучения гибридов перца сладкого в почвенно-климатических условиях Астраханской области. Исследования проводили в 2017–2019 гг., перец сладкий возделывался на светло-каштановых почвах в режиме капельного орошения по технологии, адаптированной к климатическим условиям зоны возделывания культуры. Объектами исследования являлись гибриды перца сладкого агрофирмы СеДеК и элементы структуры урожая этих гибридов. Целью исследования являлось определение гибридов перца сладкого, обладающих большим потенциалом урожайности. В задачи исследования входил анализ структуры урожая и установление ее элементов, оказавших наибольшее влияние на урожайность. Сила влияния элементов и ее направление определяли статистическими методами, в частности, был применен корреляционный анализ, в результате которого были определены элементы (переменные X), в наибольшей степени влияющие на урожайность перца сладкого. На этапе регрессионного анализа эти переменные были включены в регрессионную модель. Посредством регрессионного анализа было выведено уравнение (математическая формула), объясняющее, как урожайность перца сладкого будет количественно меняться в зависимости от изменения переменных. По результатам обработки данных статистическими методами были определены элементы структуры урожая перца сладкого, оказавшие наибольшее воздействие на урожайность – масса одного плода и толщина стенки плода.

50

Введение. Природно-климатические условия Астраханской области благоприятны для возделывания овощных культур: обилие солнечной энергии, длительный вегетационный период, близость водных источников для орошения и трассы для доставки продукции в промышленные центры.

Среди овощных культур, возделываемых в Астраханской области, особое место занимает культура перца сладкого. Разнообразие содержащихся в перце минеральных веществ и витаминов, высокая питательная ценность обуславливают его пользу для здоровья человека и необходимость поиска путей увеличения урожайности этой ценной культуры.

Главное преимущество гетерозисных гибридов – повышенная урожайность. Внедряя в производство новые перспективные гибриды перца сладкого, аграрии добиваются повышения урожайности на 20–30 %. В связи с этим изучение гибридов перца сладкого с целью определения лучших по урожайным данным является актуальным.

По многочисленным наблюдениям установлено, что элементы структуры урожая оказывают значительное влияние на продуктивность. Определение основных элементов структуры, значительно влияющих на урожайность, установление силы влияния этих элементов, прогноз изменения урожайности в зависимости от изменения элементов структуры урожая – все эти задачи могут быть решены с помощью методов математической статистики.

Для решения вышеназванных задач применяется корреляционный и регрессионный анализ в комплексе.

При определении внешних факторов, воздействующих на продуктивность, и анализе структуры урожая перца сладкого методом корреляционного и регрессионного анализа устанавливали наличие или отсутствие взаимосвязи между следующими параметрами: урожайность перца сладкого (результативный признак) и высота растений (см); продолжительность вегетационного периода (сут.); масса одного плода (г); количество плодов на растении (шт.); толщина стенки плода (мм) (факторные признаки). Три последних параметра относятся к элементам структуры урожая перца сладкого. Все цифровые значения, используемые при проведении корреляционного и регрессионного анализов, являются усредненными за 2017–2019 гг. Статистические вычисления проведены в прил. Excel, входящего в инсталляционный пакет Microsoft Office.

Методика исследований. В ходе НИР использовали следующие методики: методика полевого опыта Б.А.Доспехова, методика опытного дела в овощеводстве и бахчеводстве под ред. В.Ф. Белика, методические указания по изучению и поддержанию мировой коллекции овощных пасленовых культур (томаты, перцы, баклажаны) под редакцией академика ВАСХНИЛ Д.Д. Брежнева [2, 3, 4]. Для гранулометрического анализа почвы опытного участка была





использована классификация Н.А. Качинского [6]. Корреляционный и регрессионный анализы проведены с помощью методов математической статистики [7].

Гибриды перца сладкого агрофирмы СеДеК возделывали на капельном орошении по агротехнологии, стандартно рекомендуемой для зоны Нижнего Поволжья. Тип почвы – светлокаштановая. По классификации Н.А. Качинского определено название почвы – «тяжелосуглинистая иловато-крупнопылеватая».

Растения перца сладкого были высажены рассадой в открытый грунт, ленточным способом (2-строчный), ширина междурядий составила 140 см, расстояние между растениями в строчке – 20 см. Густота стояния – 35 714 шт./га. При изучении в качестве стандарта был взят распространенный в Астраханской области гибрид перца сладкого Помпео F₁, среднеспелый, масса плода которого достигает в среднем 150–300 г.

Агрохимические показатели почвы опытного поля приведены в табл. 1.

Таблица 1

Агрохимические показатели почвы опытного участка, горизонт 0–20 см

Показатель	Среднее значение
Органическое вещество (гумус), %	1,12
pH солевой	7,6
Хлориды, %	0,009
Хлориды, ммоль/100 г	0,25
Аммоний обменный, мг/кг	9,4
Нитраты, мг/кг	44,8
Фосфор подвижный, мг/кг	69,0
Калий подвижный, мг/кг	361,5

Анализ данных табл. 1 показал, что содержание гумуса в слое 0–20 см составило 1,12 %. Реакция pH – 7,6, слабощелочная. Содержание хлора в почвах составляет в среднем 0,01 %, т.е. в данном случае почва не засолена.

Аммонийная и нитратная формы азота находятся в следующем соотношении: аммоний обменный – 17,3 % от общего содержания,

нитраты – 82,7 %. Общеизвестно, что содержание азота аммонийного в пределах 5–25 % является оптимальным для растений, т.е. в данном случае соотношение различных форм азота приемлемое. Содержание основных элементов питания находилось на уровне: фосфор подвижный – 69 мг/кг, калий подвижный – 361,5 мг/кг, что является повышенным показателем для обоих макроэлементов. По Б.П. Мачигину содержание подвижного фосфора 61–100 мг/кг – очень высокое; содержание калия 301–400 мг/кг – повышенное [1].

Результаты исследований. Исследования, проведенные на опытных полях ФГБНУ «ПАФНЦ РАН» в 2017–2019 гг., были направлены на определение гибридов перца сладкого с лучшими показателями по урожайности, а также на определение факторов, в частности, элементов структуры урожая, в большей степени оказывающих влияние на урожайность перца сладкого.

Температурные показатели вегетационного периода 2017–2019 гг. приведены в табл. 2. Метеорологические данные получены с официально зарегистрированной метеостанции с синоптическим индексом 34578, координаты 48,07 с.ш. и 46,07 в. д., высота над уровнем моря – 5 м. Метеостанция расположена в с. Черный Яр на расстоянии 16 км от места проведения исследований.

Самым обеспеченным теплом в 2017 г. был июль, сумма активных температур выше 10 °С составила 817,1 °С, в 2018 г. так же в июле накопилось максимальное количество активных температур – 834,5 °С, в 2019 г. самым жарким оказался июнь с показателем 805,4 °С.

Экстремальные температуры воздуха за вегетацию овощных культур колебались от минимальной 2,9 до максимальной 40,5 °С в 2017 г., от 11,8 до 32,8 °С в 2018 г. и от 15,4 до 31,9 °С в 2019 г., что характеризует погодные условия как неблагоприятные.

Вегетационный период 2017 г. с мая по август включительно при ГТК = 0,5 характеризовался как сильная засуха [8]. Очень сильная засуха

Таблица 2

Температурные показатели в течение вегетационного периода перца сладкого, 2017–2019 гг.

Месяц	2017 г.			2018 г.			2019 г.		
	Σ активных температур > 10 °С, °С	экстремальная температура воздуха, °С		Σ активных температур > 10 °С, °С	экстремальная температура воздуха, °С		Σ активных температур > 10 °С, °С	экстремальная температура воздуха, °С	
		max	min		max	min		max	min
Май	514,9	29,7	2,9	372,4	27,0	14,9	202,4	28,3	17,8
Июнь	634,0	36,6	4,3	706,4	32,8	11,8	805,4	31,9	21,1
Июль	817,1	40,5	11,6	834,5	30,1	23,9	742,4	28,7	16,8
Август	800,6	40,5	13,9	740,4	27,6	19,4	719,0	30,6	15,4
За вегетацию	2766,6	40,5	2,9	2653,7	32,8	11,8	2469,2	31,9	15,4

была отмечена в 2018 и 2019 г., при ГТК = 0,2 и ГТК = 0,3, соответственно.

Влажность воздуха является важным показателем микроклимата посадок овощных культур. Влажность воздуха в 2017 г. в среднем за 4 месяца находилась в пределах 46,8 %, в 2018 г. – 41,5 %, в 2019 г. – 43,5 %.

В табл. 3 приводится урожайность по стандарту и изучаемым гибридам перца сладкого за годы изучения.

В сравнении со стандартом – гибридом Помпео F₁ четыре изучаемых гибрида Пафос F₁, Пигмалион F₁, Ромео F₁, Джульетта F₁ показали меньшие значения урожайности, а оставшиеся пять Князь Игорь F₁, Мой генерал F₁, Звезда Востока желтая F₁, Звезда Востока золотистая F₁, Звезда Востока красная F₁ продемонстрировали превышение урожайности, причем Звезда Востока желтая F₁ и Звезда Востока золотистая F₁ имели значительное превышение на 28,5 и 15,3 т/га, соответственно.

С помощью дисперсионного анализа определяли, существенны ли различия в урожайности, обусловленные действием изучаемого фактора, т.е. биологическими особенностями гибридов. Результаты дисперсионного анализа приведены в табл. 4.

Так как $F \geq F_{к}$, то нулевая гипотеза отвергается, то есть рассматриваемый фактор (в данном случае биологические особенности гибридов) оказывает существенное влияние на исследуемый признак (в данном случае – урожайность). Однако сделанный вывод не позволяет судить, насколько существенны различия

между отдельными гибридами. После вычисления наименьшей существенной разности для заданного уровня значимости (0,05) получаем: $НСР_{05} = 12,8$.

Проводили сравнение средних значений между стандартом и изучаемыми гибридами: если разность любой пары равняется или превышает 12,8, то различия между ними являются существенными, то есть статистически доказанными. В данном случае различия достоверны только в парах: Помпео F₁ и Звезда Востока желтая F₁, Помпео F₁ и Звезда Востока золотистая F₁. В остальных парах различия несущественны.

Период сбора плодов перца сладкого за годы изучения оказался растянутым. Начало сборов также варьировало в широких пределах: последняя декада июля (самый ранний первый сбор) и вторая декада августа (самый поздний первый сбор). Заключительный сбор был сделан в конце сентября. В разные годы количество сборов было различным (от трех до шести), также по годам изучения оно было различным у одних и тех же гибридов.

В табл. 5 помещены значения объясняющих переменных $X_1...X_5$ и объясняемой переменной Y , т.е. данные, на основании которых проводили корреляционный и регрессионный анализ. При анализе исключен стандарт Помпео F₁ как не изучаемый, а привлеченный для сравнения.

Результат корреляционного анализа приведен в табл. 6.

Для оценки силы связи использовали шкалу английского статистика Чеддока: слабая – от 0,1

Таблица 3

Урожайность перца сладкого за 2017–2019 гг.

Гибрид	2017 г.	2018 г.	2019 г.	Среднее, 2017–2019 гг.	+/- к урожаю
St, Помпео F ₁	72,0	62,1	55,5	63,2	–
Князь Игорь F ₁	75,9	69,1	55,5	66,8	3,6
Пафос F ₁	48,1	43,7	40,6	44,1	–19,1
Пигмалион F ₁	46,8	39,7	33,9	40,1	–23,1
Ромео F ₁	52,0	50,4	40,8	47,7	–15,5
Джульетта F ₁	59,7	48,3	47,7	51,9	–11,3
Мой генерал F ₁	69,9	63,5	59,0	64,1	0,9
Звезда Востока желтая F ₁	102,9	90,8	81,3	91,7	28,5
Звезда Востока золотистая F ₁	87,3	74,7	73,5	78,5	15,3
Звезда Востока красная F ₁	69,0	62,7	58,2	63,3	0,1

Таблица 4

Однофакторный дисперсионный анализ урожайности гибридов перца сладкого за 2017–2019 гг.

Источник вариации	SS	df	MS	F	P-значение	F критическое
Между группами	6838,9	9	759,8819468	13,81697716	8,90861E-07	2,392814108
Внутри групп	1099,9	20	54,9962512			
Итого	7938,9	29				



Факторы, влияющие на урожайность перца сладкого, среднее 2017–2019 гг.

Гибрид	Урожайность, т/га	Высота растений, см	Продолжительность вегетационного периода, сут.	Масса одного плода, г	Количество плодов на растении, шт.	Толщина стенки плода, мм
	Y	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5
Князь Игорь F1	66,8	65	114	139	14	9
Пафос F ₁	44,1	60	119	101	12	7
Пигмалион F ₁	40,1	75	117	120	10	8
Ромео F ₁	47,7	62	107	79	16	7
Джувьетта F ₁	51,9	42	114	131	11	9
Мой генерал F ₁	64,1	55	137	203	9	8
Звезда Востока желтая F ₁	91,7	75	132	263	11	10
Звезда Востока золотистая F ₁	78,5	65	114	150	15	10
Звезда Востока красная F1	63,3	60	112	130	14	9

до 0,3; умеренная – от 0,3 до 0,5; заметная – от 0,5 до 0,7; высокая – от 0,7 до 0,9; весьма высокая (сильная) – от 0,9 до 1,0 [5].

Анализируя данные табл. 6, можно сказать, что высокая прямая связь (коэффициенты выше 0,8) имеется между урожайностью и массой одного плода (Y и X_3), а также между урожайностью и толщиной стенки плода (Y и X_5). Умеренная прямая связь (коэффициент корреляции 0,43) отмечена между урожайностью и продолжительностью вегетационного периода (Y и X_2). Слабая прямая связь наблюдается между урожайностью и высотой растения, а также между урожайностью и количеством плодов на растении.

На следующем этапе рассмотрели, как переменные $X_1...X_5$ влияют друг на друга, т. е. фактор мультиколлинеарности. Мультиколлинеарность характеризуется сильной взаимосвязью между переменными X и означает, что переменные X оказывают конкурентное влияние на переменную Y и является отрицательным эффектом в модели множественной регрессии. Продолжительность вегетационного периода и масса одного плода имеют высокую прямую связь (коэффициент 0,83). Продолжительность вегетационного периода и количество плодов на растении имеют высокую обратную связь (коэффициент $-0,76$). Масса одного плода и количество плодов

на растении связаны между собой умеренной обратной связью (коэффициент $-0,49$). Масса одного плода и толщина стенки плода имеют заметную прямую связь (коэффициент 0,63).

Интерпретация результатов корреляционного анализа говорит о том, что на урожайность перца сладкого в большей степени оказывают влияние такие элементы структуры урожая, как масса одного плода и толщина стенки плода. Для того чтобы смоделировать числовое значение урожайности, факторы, влияющие на урожайность, необходимо включить в математическую формулу. Эта задача может быть решена методом регрессионного анализа.

При проведении регрессионного анализа, из переменных, влияющих на урожайность, исключим высоту растений (X_1) как имеющую незначительное влияние на результативную или объясняемую переменную Y . Статистика по результатам регрессионного анализа приведена ниже (табл. 7).

Коэффициент детерминации $R^2 = 0,998$, это говорит о высокой точности модели (при $R^2 > 0,95$), и означает, что переменные $X_2...X_5$ оказывают влияние на урожайность на 99,8 %. Сравним $F = 519,94 > F_{крит} = 6,39$, т. е. существует линейная связь между урожайностью и хотя бы одной из переменных $X_2...X_5$. Все P -значения, меньше 0,05 (вероятность ошибки), значит все переменные значимые. Рассмотрим верхние и нижние границы доверительного интервала. При каждой переменной они имеют одинаковые знаки, это означает, что коэффициент регрессии – значимый.

Таким образом, получена следующая модель регрессии:

$$Y = 0,83X_2 + 0,14X_3 + 4,62X_4 + 6,53X_5 - 171,12.$$

Таблица 6

Матрица коэффициентов корреляции

	Y	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5
Y	1					
X_1	0,28	1				
X_2	0,43	0,13	1			
X_3	0,81	0,27	0,83	1		
X_4	0,08	0,06	$-0,76$	$-0,49$	1	
X_5	0,83	0,16	0,16	0,63	0,04	1



Регрессионная статистика

Множественный R	0,99903973					
R-квадрат	0,99808038					
Нормированный R-квадрат	0,99616076					
Стандартная ошибка	1,04587874					
Наблюдения	9					
Дисперсионный анализ						
		<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	
Регрессия		4	2274,95	568,74	519,94	
Остаток		4	4,38	1,09		
Итого		8	2279,33			
	Коэффициент	Стандартная ошибка	<i>t</i> -статистика	<i>P</i> -значение	Верхние 95 %	Нижние 95 %
Y-пересечение	-171,12	23,70	-7,22	0,002	-105,33	-236,91
X ₂	0,83	0,17	4,93	0,008	1,29	0,36
X ₃	0,14	0,03	4,49	0,011	0,23	0,05
X ₄	4,62	0,27	17,12	0,000	5,37	3,87
X ₅	6,53	0,82	7,95	0,001	8,80	4,25

Полученное уравнение регрессии показывает взаимосвязь между урожайностью перца сладкого (т/га), продолжительность вегетационного периода (сут.), массой одного плода (г), количеством плодов на растении (шт.) и толщиной стенки плода (мм).

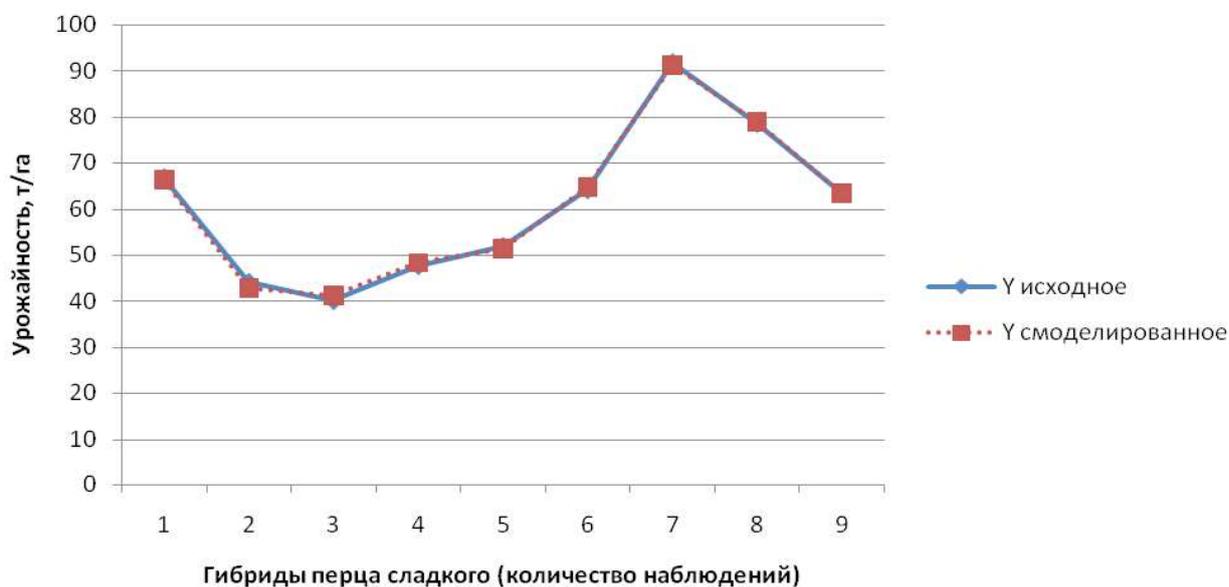
Из уравнения видно, что с ростом продолжительности вегетационного периода на 1 сут. урожайность перца сладкого увеличится на 0,83 т/га, при увеличении массы одного плода перца сладкого на 1 г урожайность вырастит на 0,14 т/га, при увеличении количества плодов на каждом растении на 1 шт. урожайность вырастит на 4,62 т/га и при увеличении стенки каждого плода на 1 мм урожайность увеличится на 6,53 т/га. Свободный член в уравнении показывает уровень урожайности перца сладкого при условии, что все X будут равны 0.

Вычислим среднюю ошибку аппроксимации из табл. 8.

Таблица 8

Вывод остатка

Наблюдение	Предсказанное Y	Остаток
1	66,30510344	0,494896559
2	42,79888852	1,301111481
3	41,09857163	-0,998571626
4	48,25454133	-0,554541331
5	51,31150961	0,588490394
6	64,72198809	-0,621988092
7	91,32499231	0,375007685
8	79,0024271	-0,502427103
9	63,38197797	-0,081977968



Гибриды перца сладкого (количество наблюдений)

Исходная и смоделированная по полученной регрессионной модели урожайность перца сладкого, т/га



Ошибка аппроксимации составляет 1,18 %.

Далее построим график исходных и смоделированных значений Y (см. рисунок).

Из данных рисунка видно, что предсказанная по регрессионной модели урожайность перца сладкого очень близко располагается к исходной урожайности.

Заключение. В сельском хозяйстве на результативный признак (урожайность) сорт или гибрид оказывает значительное влияние.

Применив дисперсионный анализ к данным по урожайности изучаемых гибридов перца сладкого, можно констатировать, что гибриды Звезда Востока желтая F_1 и Звезда Востока золотистая F_1 имели существенное преимущество по сравнению со стандартом Помпео F_1 , их урожайность составила 91,7 и 78,5 т/га, а прибавка к урожаю – 28,5 и 15,3 т/га соответственно. Данный факт позволяет рекомендовать эти гибриды для возделывания в почвенно-климатических условиях Астраханской области.

Посредством корреляционного и регрессионного анализов установлено, что на урожайность наибольшее влияние оказали такие элементы структуры урожая, как масса одного плода и толщина стенки плода.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Агрохимические методы исследования почв. – М.: Наука, 1975. – 656 с.

2. Белик В.Ф. Методика опытного дела в овощеводстве и бахчеводстве. – М.: Агропромиздат, 1992. – 319 с.

3. Брежнев Д.Д. Методические указания по изучению и поддержанию мировой коллекции овощных пасленовых культур (томаты, перец, баклажаны). – Л., 1977. – 24 с.

4. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований) – 5-е изд. перераб. и доп. – М.: Агропромиздат, 1985. – 351 с.

5. Ишханян М.В., Карпенко Н.В. Эконометрика. Ч. 1. Парная регрессия: учеб. пособие. – М.: МГУПС (МИИТ), 2016. – 117 с.

6. Качинский Н.А. Механический и микроагрегатный состав почвы, методы его изучения. – М.: Изд-во АН СССР, 1958. – 192 с.

7. Кремер Н.Ш., Путко Б.А. Эконометрика: учебник для вузов / под ред. проф. Н.Ш. Кремера. – М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2002. – 311 с.

8. Селянинов Г. Т. О сельскохозяйственной оценке климата // Труды по сельскохозяйственной метеорологии. – 1928. – Вып. 20. – С. 165–177.

Мягкова Елена Георгиевна, научный сотрудник отдела земледелия и комплексной мелиорации, ФГБНУ «Прикаспийский аграрный федеральный научный центр Российской академии наук». Россия.

416251, Астраханская обл., Черноярский р-н, с. Соленое Займище, кв. Северный, 8.
Тел.: 89270741977.

Ключевые слова: перец сладкий; урожайность; корреляционный анализ; регрессионный анализ; структура урожая.

APPLICATION OF STATISTICAL METHODS IN THE ANALYSIS OF SWEET PEPPER YIELD

Myagkova Elena Georgievna, Researcher of the Department of agriculture and integrated melioration, Federal state budgetary scientific institution "Caspian Agricultural Federal Scientific Center of the Russian Academy of Sciences". Russia.

Keywords: sweet pepper; yield; correlation analysis; regression analysis; crop structure.

The results of studying sweet pepper hybrids in the soil and climate conditions of the Astrakhan region are presented. Studies were conducted in 2017-2019. Sweet pepper was cultivated on light chestnut soils, in the mode of drip irrigation, using technology adapted to the climatic conditions of the zone of cultivation of the crop. The objects of research were sweet pepper hybrids of the agricultural firm "Sedek" and elements of the crop structure of these hybrids. The purpose of the study was to determine sweet pepper hybrids with high yield potential.

The purpose of the study was to analyze the structure of the crop and identify the elements of the structure that had the greatest impact on productivity. The strength of the elements' influence and its direction were determined by statistical methods, in particular, correlation analysis was applied. As a result of correlation analysis, elements (variables X) were determined to the greatest extent that affect the yield of sweet pepper. At the stage of regression analysis, these variables were included in the regression model. Using regression analysis, an equation (mathematical formula) was derived that explains how the yield of sweet peppers will change quantitatively depending on changes in variables. According to the results of data processing using statistical methods, the elements of the structure of the sweet pepper crop that had the greatest impact on productivity were determined: the mass of one fruit, g and the thickness of the fruit wall.

