

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА НА ИНТЕНСИВНОСТЬ РАЗВИТИЯ ПРОРОСТКОВ ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЫ ПРИ ЛИМИТИРОВАННОМ РАСХОДОВАНИИ ЗАПАСНОГО СУБСТРАТА СЕМЯН

V.N. Romanov, E.V. Melnikova, A.A. Belyakov

THE INFLUENCE OF TEMPERATURE REGIME ON THE INTENSITY OF THE DEVELOPMENT OF SPRING WHEAT GERMS AT LIMITED EXPENDITURE OF SPARED SEEDS SUBSTRATE

Романов В.Н. – д-р с.-х. наук, вед. науч. сотр. отдела агротехнологий Красноярского НИИ сельского хозяйства ФИЦ КНЦ СО РАН, г. Красноярск. E-mail: romanov1948@yandex.ru

Мельникова Е.В. – канд. техн. наук, ассист. каф. технологий хлебопекарного, кондитерского и макаронного производств Красноярского государственного аграрного университета, г. Красноярск. E-mail: mev131981@mail.ru

Беляков А.А. – канд. техн. наук, доцент каф. гуманитарных дисциплин Ачинского филиала Красноярского государственного аграрного университета, г. Ачинск. E-mail: bellimfor@ya.ru

Romanov V.N. – Dr. Agr. Sci., Leading Staff Scientist, Department of Agrotechnologies, Krasnoyarsk Research and Development Institute of Agriculture, FRC KRC, SB RAS, Krasnoyarsk.

E-mail: romanov1948@yandex.ru

Melnikova E.V. – Cand. Techn. Sci., Asst, Chair of Technologies of Baking, Confectionery and Macaroni Productions, Krasnoyarsk State Agrarian University, Krasnoyarsk.

E-mail: mev131981@mail.ru

Belyakov A.A. – Cand. Techn. Sci., Assoc. Prof., Department of Humanities, Achinsk Branch, Krasnoyarsk State Agrarian University, Achinsk.

E-mail: bellimfor@ya.ru

В современных схемах исследования качества семян пшеницы период развития проростков до всходов занимает место начальных данных для всего процесса развития растений. Однако на территориях с высокими амплитудами колебаний температуры, вследствие вызываемых ими стрессов растений, практически невозможно обеспечить устойчивость результатов исследований этого процесса по начальным данным. Поэтому фактор резкой континентальности климата существенно затрудняет поиск биотехнологического механизма программирования всхожести семян пшеницы. Впервые в рамках решения задач фундаментальной проблемы программирования всхожести семян пшеницы заданного качества в условиях лесостепной зоны Красноярского края предложен подход, предполагающий введение модельного сорта пшеницы на основе положения о подобии процессов расходования запаса субстрата семян для группы исследуемых сортов. Модельный сорт объективизирует исследуемые процессы и свойства, необходимые для анализа динами-

ки процесса развития проростков различных сортов при заданных температурных режимах окружающей среды. Основная идея работы заключается в том, что с использованием сети поправочных коэффициентов числовые характеристики, полученные для модельного сорта, могут быть по принципу подобия перенесены на конкретный сорт из данной группы исследуемых сортов. Следовательно, выявленные и исследованные закономерности процессов расходования субстратов семян, на примере модельного сорта пшеницы на заданных температурных режимах, позволили теоретически обосновать возможность прогнозирования динамики процесса развития проростка конкретного сорта в период до всходов.

Ключевые слова: влияние температуры, интенсивность расходования, интенсивность развития, проростки пшеницы, запасной субстрат, модельный сорт, остаточная масса, принцип подобия, поправочный коэффициент.

In modern schemes of researching the quality of wheat seeds the period of development of sprouts

to shoots takes the place of initial data for entire plant development process. However, in the territories with high amplitudes of temperature fluctuations, owing to the stresses of plants caused by them, it is almost impossible to provide the stability of the results of the researches of this process on initial data. Therefore, the factor of sharp continental climate makes it very difficult to find a biotechnological mechanism for programming seed germination of wheat. For the first time within the solution of problems of fundamental problem of programming the viability of seeds of wheat of the set quality in the conditions of a forest-steppe zone of Krasnoyarsk Region the approach assuming introduction of a model of wheat variety on the basis of the provision on similarity of processes of an expenditure of seeds substrate stock for group of studied varieties has been offered. The model variety objectifies the studied processes and properties necessary for analyzing the dynamics of the process of the development of seedlings of various varieties under given temperature conditions of the environment. The main idea of the study is that using the network of correction coefficients numerical characteristics received for a model variety can by the principle of similarity be used for a concrete variety from this group of studied varieties. Consequently, revealed and studied patterns of the process of spending seeds substrates, using the example of a model wheat variety at given temperature conditions, allowed to prove in theory the possibility of predicting the dynamics of the process of seedling development of a particular variety in the period before germination.

Keywords: temperature effect, consumption rate, development intensity, wheat seedlings, spare substrate, model variety, residual mass, similarity principle, correction factor.

Введение. В земледельческой части лесостепной зоны Красноярского края короткий вегетационный период, обусловленный специфическим температурным режимом и циркуляцией атмосферного воздуха, характерными для резко континентального климата Восточной Сибири [9]. В этих условиях адаптивный потенциал сортов пшеницы и, соответственно, компоненты хозяйственно ценной части урожая пшеницы, характеризующие качество, существенно различаются и коррелируются с составом субстра-

тов (запасного белка, запасного крахмала семян). Кроме того, наблюдения на опытных полях показывают, что в режиме резких температурных колебаний процессы расходования запасного белка и запасного крахмала при развитии проростков пшеницы одного и того же сорта могут протекать неодинаково вследствие стресса растений [6, 8].

В проведенном исследовании группы сортов пшеницы предложен подход, предполагающий введение так называемого модельного сорта, объективизирующего усредненные свойства отдельных сортов при ограничениях на амплитуду колебаний суточной температуры, обеспечивающих устойчивость усредняемых данных. В этом смысле модельный сорт пшеницы – это условный средний сорт, рассмотренный на заданной предметной области изменения температуры и продолжительности развития проростков до всходов. Обратный переход от параметров модельного сорта к характеристике конкретного сорта в конкретной географической точке выполняется стандартным приемом введения сети поправочных коэффициентов (индексов реакций).

Рассмотрение модельного сорта пшеницы как инструмента, позволяющего имитировать полевой биотехнологический эксперимент для изучения и прогнозирования процесса развития проростков, ранее не проводилось.

Цель исследования. Раскрыть механизм сопряжения и влияния температурного режима и процесса расходования запаса субстрата на интенсивность развития проростков пшеницы модельного сорта в условиях лесостепной зоны Красноярского края.

Задачи исследования: выявить закономерности процесса расходования запасного белка и крахмала семян пшеницы на развитие проростков пшеницы при различных температурных режимах; выполнить имитацию скорости расходования субстрата семян пшеницы от посева до всходов; теоретически обосновать влияние температурного режима на интенсивность развития проростков модельного сорта пшеницы в условиях лесостепной зоны Красноярского края.

Объект и методы исследования: группа районированных сортов пшеницы, возделываемых на полях, расположенных в Канской и Красноярской лесостепи: Новосибирская 15,

Новосибирская 29, Новосибирская 31, Омская 32, Алтайская 70 и др.

Предмет исследования: закономерности формирования всхожести семян пшеницы высшей категории (суперэлиты) при лимитированном расходе субстрата. Методы исследования: системное планирование полевых опытов по изучению качественных характеристик семян пшеницы [2–5]; использование элементов координатного (точного) земледелия; обеспечение устойчивости полевого эксперимента посредством четырёхкратной повторности опыта, применением общепринятой агротехники для лесостепи; верификация с использованием математического аппарата регрессионного анализа.

Использованы данные дистанционного зондирования воздушной среды и почвы по определению суточного интервала температуры 4 °С (от минимальной до максимальной), влажности почвы по 5 слоям ширины до 10 см (каждого слоя). Применены пакеты компьютерной математики Maple и DataFit, статистические функции табличного процессора MsExcel.

Результаты исследования и их обсуждение. На предварительном уровне исследований выполнена статистическая обработка экспериментальных данных [13], сформированы данные, определяющие модельный сорт, и для него получены регрессионные зависимости про-

цессов расходования белка и крахмала семян при колебании температуры в интервале не более 4 °С. Показана их адекватность по Фишеру [7]. Независимость отклонений поверхностей отклика исследуемых величин от опытных данных этих величин проверена с использованием статистики Дарбина-Ватсона [12].

На основном уровне исследований раскрываются и систематизируются закономерности влияния температурного режима на развитие проростков до появления всходов. Исходя из предположения подобия процессов расходования белка и крахмала, отнесённых к одному объекту исследований [1, 10], посредством вычислительного эксперимента на компьютере с контролем уровня детерминации не ниже 90 % и с учётом значимости по Стьюденту всех коэффициентов регрессии [11] выявлен общий вид зависимостей процессов.

Предлагаемая схема определения интенсивности развития проростков пшеницы модельного сорта при лимитированном расходе запасного субстрата семян и ограничениях на колебания температуры в допустимых полевых опытах. Остаточная масса (B , мг N) запасного белка для фракции 100 семян в зависимости от температуры (T , °С) и продолжительности процесса прорастания (t , сут) представляется полиномиальной функцией

$$B(T, t) = c_0 + c_1 T t + c_2 t^2 + c_3 T^2 t + c_4 T t^2 + c_5 T^2 t^2,$$

где $c_0, c_1, c_2, c_3, c_4, c_5$ – отыскиваемые числовые коэффициенты (см. п. 1).

Остаточная масса (K , мг С) запасного крахмала для фракции 100 семян в зависимости

$$K(T, t) = c_0 + c_1 T t + c_2 t^2 + c_3 T^2 t + c_4 T t^2 + c_5 T^2 t^2,$$

где $c_0, c_1, c_2, c_3, c_4, c_5$ – отыскиваемые числовые коэффициенты (см. п. 2).

Накопленная (сухая) масса (P , мг·10²) проростков для фракции 100 семян в зависимо-

сти от температуры (T , °С) и продолжительности процесса (t , сут) представляется полиномиальной функцией

сти от температуры (T , °С) и продолжительности процесса (t , сут) представляется полиномиальной функцией

$$P(T, t) = c_0 + c_1 T t + c_2 t^2 + c_3 T^2 t + c_4 T t^2 + c_5 T^2 t^2,$$

где $c_0, c_1, c_2, c_3, c_4, c_5$ – отыскиваемые числовые коэффициенты (см. п. 3).

Накопленная (сухая) масса ($P, мг \cdot 10^2$) проростков для фракции 100 семян в зависимо-

$$P(T, t) = c_0 + c_1 B + c_2 K + c_3 BK + c_4 B^2 + c_5 K^2,$$

где $c_0, c_1, c_2, c_3, c_4, c_5$ – отыскиваемые числовые коэффициенты (см. п. 4).

Поскольку рассчитанный коэффициент детерминации для всех исследуемых зависимостей оказался выше 95 %, а относительная погрешность не превышает 5 %, то выявленные закономерности использованы для целей прогнозирования интенсивностей (скоростей изме-

сти от массы израсходованного белка ($B, мг N$) и массы израсходованного крахмала ($K, мг C$) представляется полиномиальной функцией

нения по температуре и по продолжительности) подобных процессов.

Интенсивность процессов по температуре представляется частными производными по переменным T и t . Например, интенсивности расходования запасного белка по температуре и запасного крахмала по продолжительности соответственно равны

$$B_T(T, t) = \frac{\partial B(T, t)}{\partial T}, \quad K_t(T, t) = \frac{\partial B(T, t)}{\partial t}.$$

Ограниченность опытных исследований, обусловленная сложностью обеспечения однородности условий для фракции семян при колебании температуры свыше 4 °С в день, частично может быть компенсирована вычислительными экспериментами с применением компьютерного пакета Maple для модельного сорта пшеницы, а также сопоставлением с открытыми данными в научной печати.

1. Влияние температуры и продолжительности от посева до всходов на интенсивность процесса расходования запасного белка семян пшеницы. Остаточная масса ($B, мг N$) запасного белка для фракции 100 семян в зависимости от температуры ($T, °C$) и продолжительности процесса ($t, сут$) представляется полиномиальной функцией (рис. 1).

$$B(T, t) = 76.22809047 - 0.3820424191 T t + 0.1654905801 t^2 - 0.02064978083 T^2 t - 0.06454617329 T t^2 + 0.004330071022 T^2 t^2$$

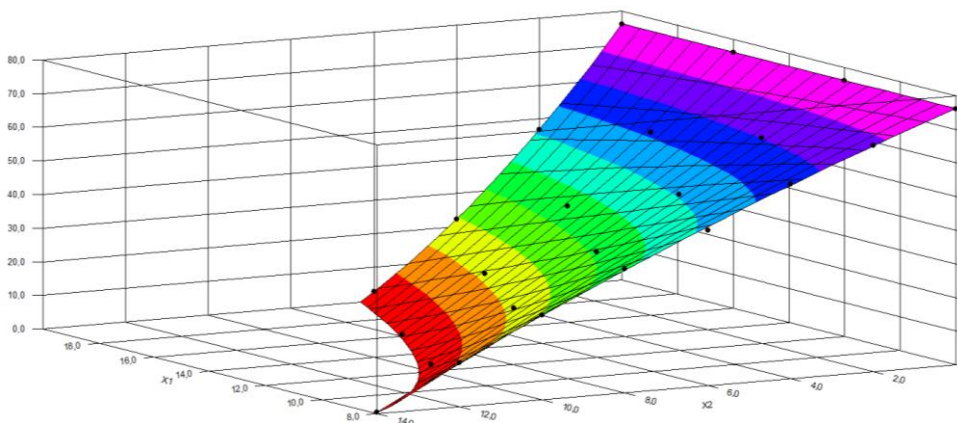


Рис. 1. Опытные данные и поверхность отклика остаточной массы запасного белка для фракции 100 семян

Остаточная масса белка в семенах модельного сорта изменяется в диапазоне 0–76,2281 мг N, причём значение 2,6610 мг N, получаемое при температуре 20 °С и продолжительности 6 сут, не является минимальным, и в этом случае белок остаётся неизрасходованным до конца.

Визуально сопоставив две области интенсивности расходования белка по температуре (T, °С) и продолжительности (t, сут), получаем, что устойчивый процесс сходимости к точке с

координатами $T = 22^{\circ}\text{C}$, $t = 20$ сут. можно наблюдать, например, при $T > 16^{\circ}\text{C}$ и $t > 8$ сут.

Интенсивность $(B_T, \frac{\text{мг N}}{^{\circ}\text{C}})$ расходования запасного белка по температуре в зависимости от температуры (T, °С) и продолжительности процесса (t, сут) представляется полиномиальной функцией (рис. 2, 3)

$$B_T(T, t) = -0.3820424191 t - 0.04129956166 T t - 0.06454617329 t^2 + 0.008660142044 T t^2$$

Интенсивность $(B_t, \frac{\text{мг N}}{\text{сут}})$ расходования запасного белка по продолжительности в зави-

симости от температуры (T, °С) и продолжительности процесса (t, сут) представляется полиномиальной функцией (рис. 4, 5)

$$B_t(T, t) = -0.3820424191 T + 0.3309811602 t - 0.02064978083 T^2 - 0.1290923466 T t + 0.008660142044 T^2 t$$

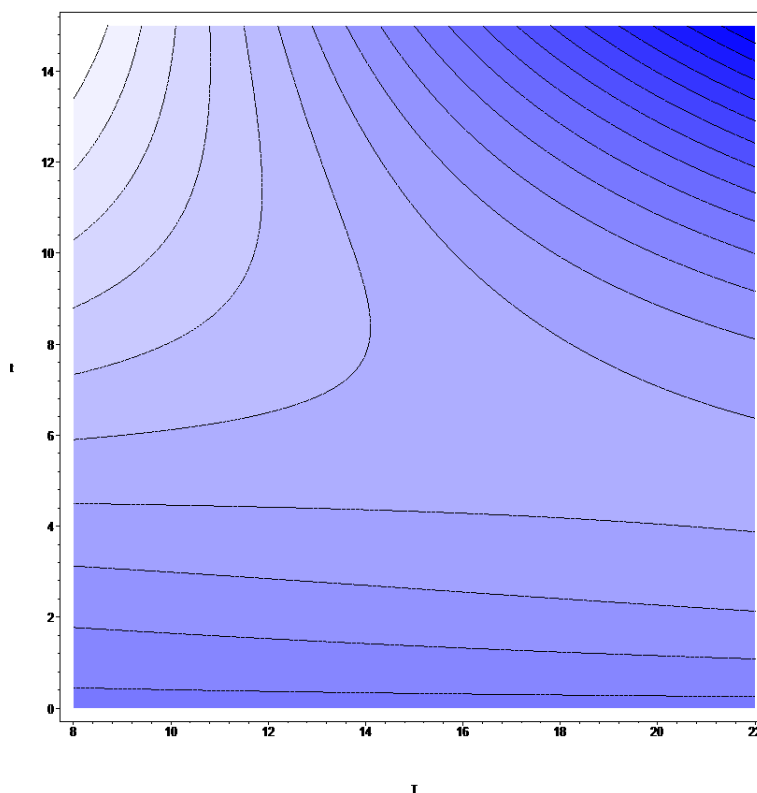


Рис. 2. Области интенсивности расходования запасного белка по температуре в координатах (T, t)

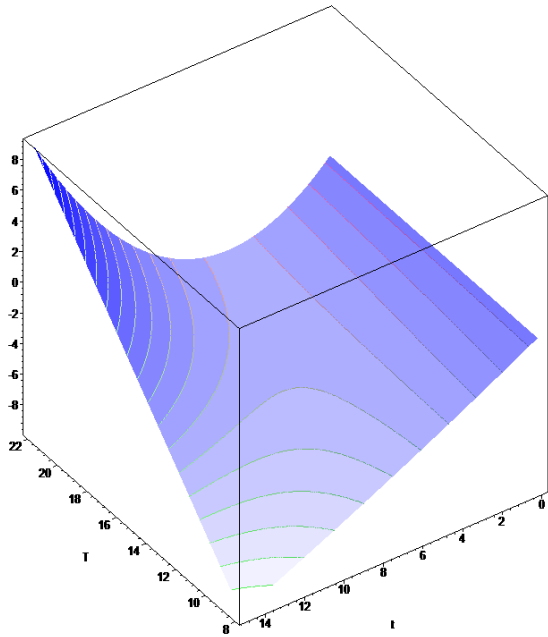


Рис. 3. Интенсивность расходования запасного белка по температуре в координатах (T, t, B)

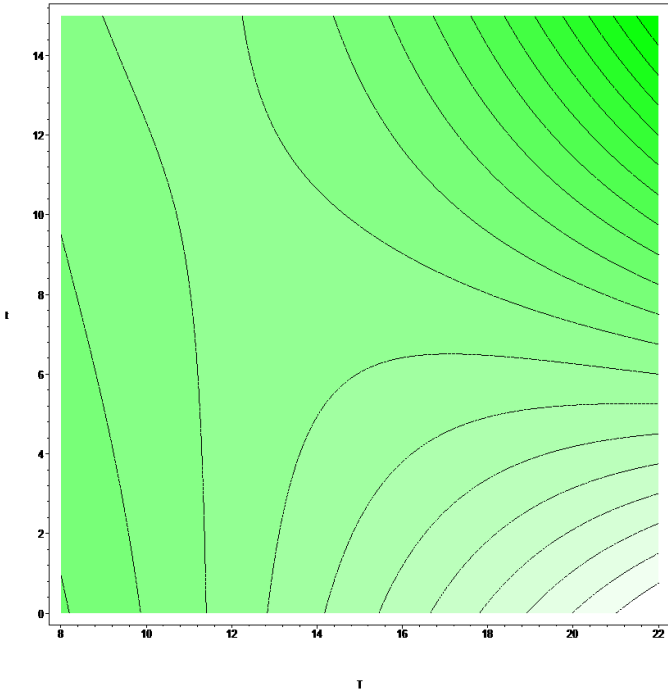


Рис. 4. Области интенсивности расходования запасного белка по продолжительности в координатах (T, t)

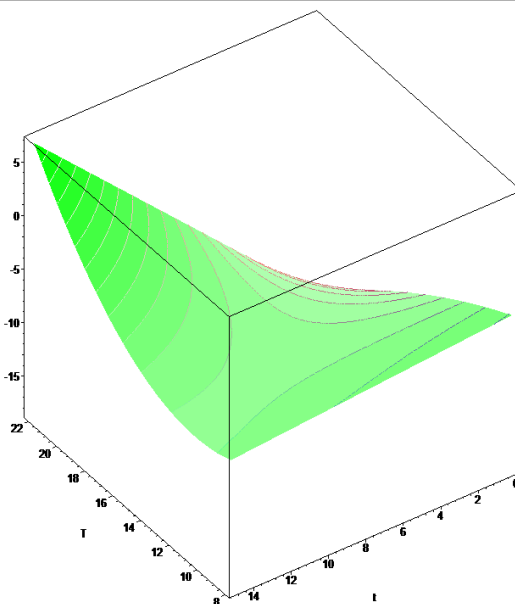


Рис. 5. Интенсивность расходования запасного белка по продолжительности в координатах (T, t, B)

В целом визуальный анализ и расчётные данные показали тенденцию повышения интенсивности расходования запасного белка при повышении температуры с предполагаемого момента начала гидролиза до момента прорастания, что может быть связано с активацией ферментного аппарата. При истощении запасного белка интенсивность снижается.

2. Влияние температуры и продолжительности от посева до всходов на интенсивность процесса расходования запасного крахмала семян пшеницы. Остаточная масса ($K, \text{мг С}$) запасного крахмала для фракции 100 семян в зависимости от температуры ($T, \text{°C}$) и продолжительности процесса ($t, \text{сут}$) представляется полиномиальной функцией (рис. 6)

$$K(T, t) = 655.3144092 + 0.9478514481 T t + 0.9645884118 t^2 - 0.2079556722 T^2 t - 0.4658506741 T t^2 + 0.01175065099 T^2 t^2$$

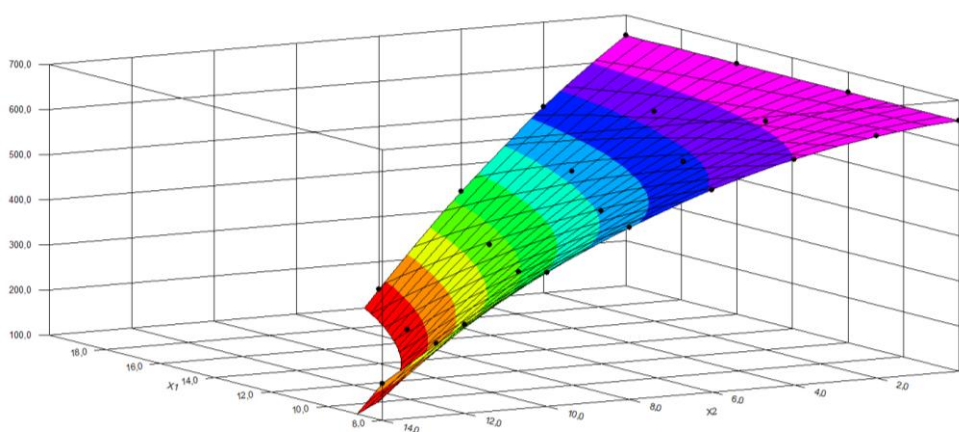


Рис. 6. Опытные данные и поверхность отклика остаточной массы запасного крахмала для фракции 100 семян

Остаточная масса крахмала в семенах модельного сорта изменяется в диапазоне 0–655,3144 мгС, причём значение 138,4850 мгС, получаемое при температуре 20 °С и продолжительности 6 сут, не является минимальным. Далее процесс может быть продолжен до 20 суток или до момента обнуления запаса.

Визуальный анализ двух сопоставляемых областей интенсивности расходования крахмала по температуре (T , °С) и продолжительности (t , сут) позволяет увидеть существенное паде-

ние интенсивности процесса расходования крахмала при его сходимости к точке с координатами $T = 22^{\circ}\text{C}$, $t = 20$ сут.

Интенсивность ($K_T, \frac{\text{мг С}}{^{\circ}\text{C}})$ расходования запасного крахмала по температуре в зависимости от температуры (T , °С) и продолжительности процесса (t , сут) представляется полиномиальной функцией (рис. 7, 8)

$$K_T(T, t) = 0.9478514481 t - 0.4159113444 T t - 0.4658506741 t^2 + 0.02350130198 T t^2$$

Интенсивность ($K_t, \frac{\text{мг С}}{\text{сут}}$) расходования запасного крахмала по продолжительности в

зависимости от температуры (T , °С) и продолжительности процесса (t , сут) представляется полиномиальной функцией (рис. 9, 10):

$$K_t(T, t) = 0.9478514481 T + 1.929176824 t - 0.2079556722 T^2 - 0.9317013482 T t + 0.02350130198 T^2 t$$

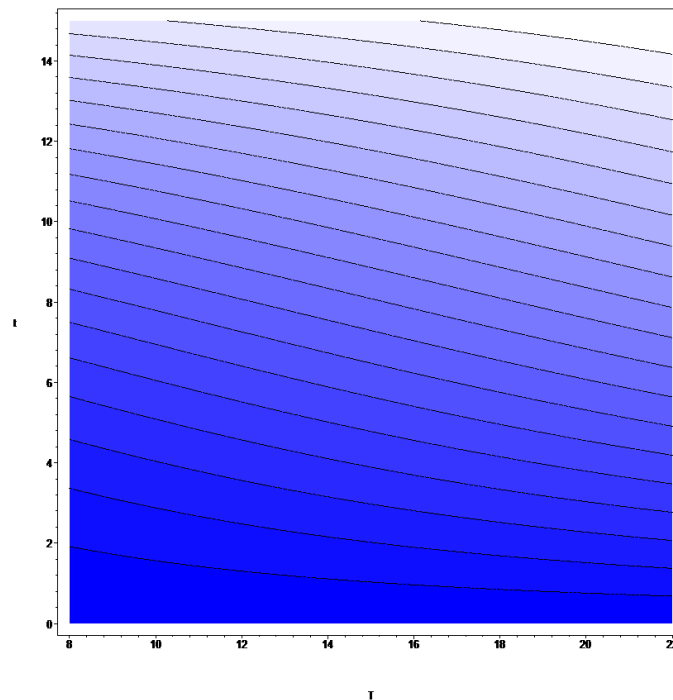


Рис. 7. Области интенсивности расходования запасного крахмала по температуре в координатах (T , t)

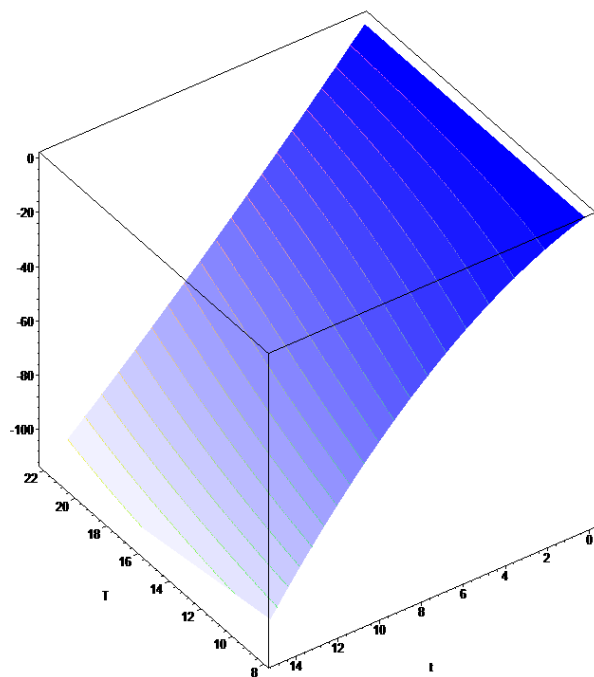


Рис. 8. Интенсивность расходования запасного крахмала по температуре в координатах (T, t, K)

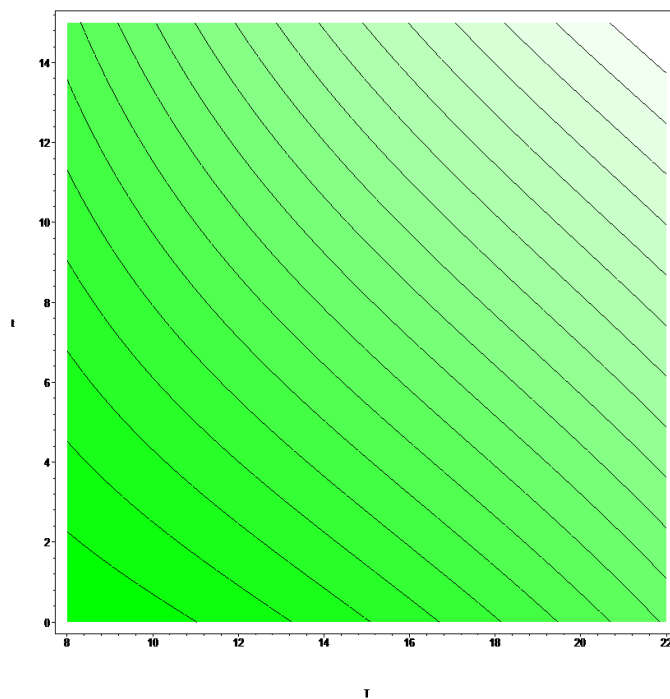


Рис. 9. Области интенсивности расходования запасного белка по продолжительности в координатах (T, t)

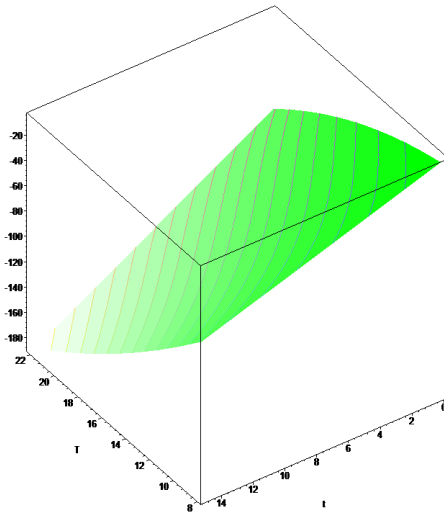


Рис. 10. Интенсивность расходования запасного белка по продолжительности в координатах (T, t, K)

В целом методом вычислительного эксперимента и визуального анализа выявили тенденцию равномерного снижения интенсивности расходования запасного крахмала, несмотря на то, что сам процесс расходования крахмала не прекращается до момента обнуления его запаса.

3. Влияние температуры и продолжительности от посева до всходов на интенсивность процесса развития проростков семян пшеницы. Накопленная (сухая) масса ($P, \text{мг} \cdot 10^2$) проростков для фракции 100 семян в зависимости от температуры ($T, \text{°C}$) и продолжительности процесса ($t, \text{сут}$) представляется полиномиальной функцией (рис. 11)

$$P(T, t) = 0.670509861 + 0.005267583309 T t - 0.05741821652 t^2 + 0.005603409924 T^2 t + 0.01885092686 T t^2 - 0.0009276074363 T^2 t^2$$

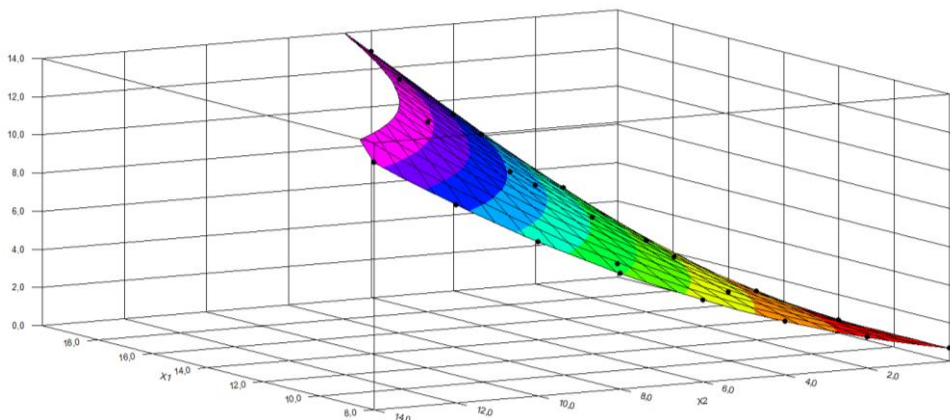


Рис. 11. Опытные данные и поверхность отклика накопленной (сухой) массы проростков для фракции 100 семян

Накопленная (сухая) масса проростков семян 0,6705–13,2512 мг N. Поверхность отклика модельного сорта изменяется в диапазоне

сильно выпрямлена, поэтому накопление сухой массы происходит почти линейно, то есть почти равномерно.

Визуальный анализ областей интенсивности накопления массы проростков по температуре показывает, что возрастание интенсивности сменяется её убыванием, проходя через обнаруженное плато устойчивости с центром в точке с координатами $T = 16^{\circ}C$, $t = 8 сут.$ Визуальный анализ областей интенсивности по про-

должительности ($t, сут.$) показывает почти равномерное ей снижение.

Интенсивность ($P_T, \frac{мг 10^2}{^{\circ}C}$) развития проростков по температуре в зависимости от температуры ($T, ^{\circ}C$) и продолжительности процесса ($t, сут.$) представляется полиномиальной функцией (рис. 12, 13):

$$P_T(T, t) = 0.005267583309 t + 0.01120681985 T t + 0.01885092686 t^2 - 0.001855214873 T t^2$$

Интенсивность ($P_t, \frac{мг 10^2}{сут.}$) развития проростков по продолжительности в зависимости от

температуры ($T, ^{\circ}C$) и продолжительности процесса ($t, сут.$) представляется полиномиальной функцией (рис. 14, 15):

$$P_t(T, t) = 0.005267583309 T - 0.1148364330 t + 0.005603409924 T^2 + 0.03770185372 T t - 0.001855214873 T^2 t$$

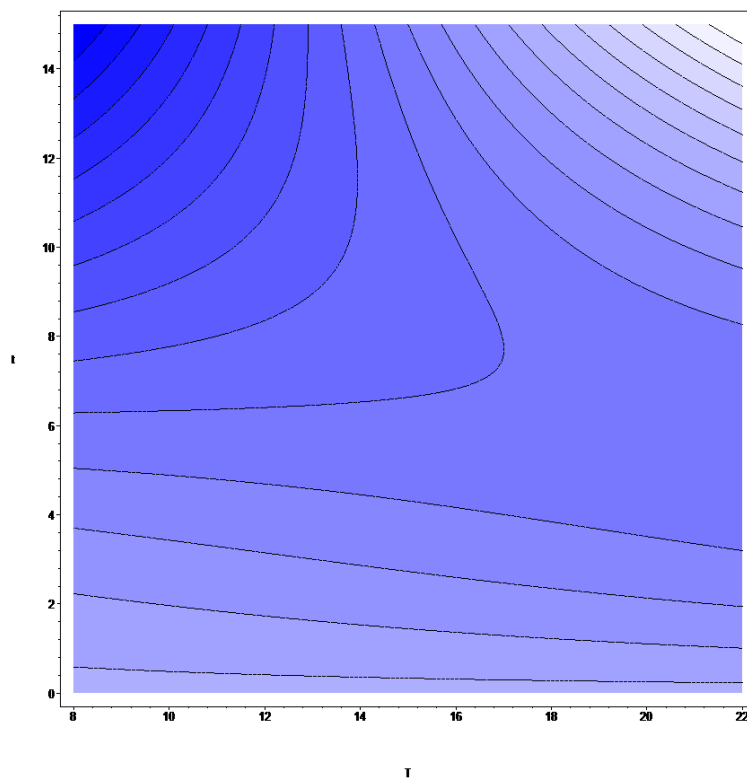


Рис. 12. Области интенсивности развития проростков по температуре в координатах (T, t)

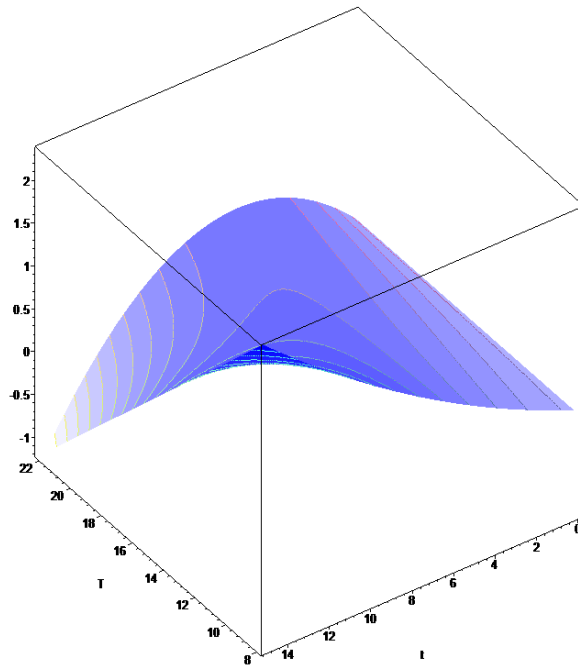


Рис. 13. Интенсивность развития проростков по температуре в координатах (T, t, P)

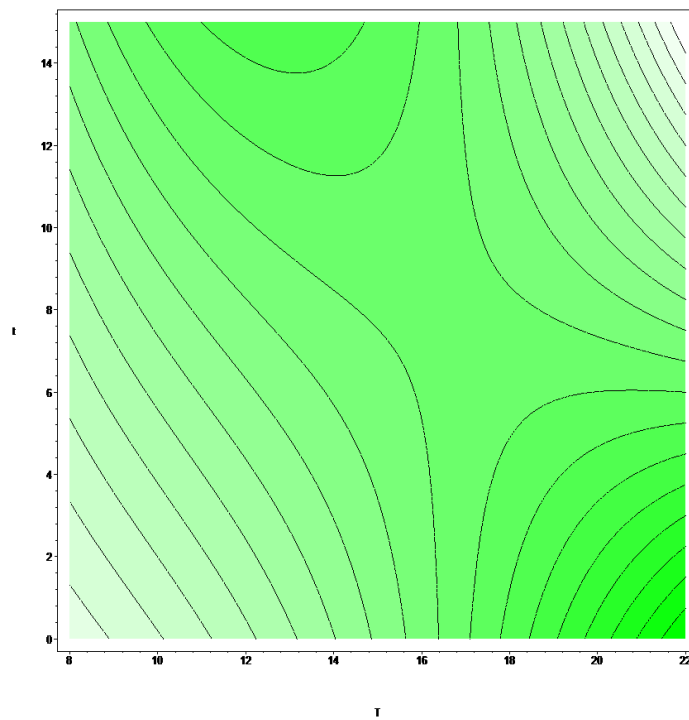


Рис. 14. Области интенсивности развития проростков по продолжительности в координатах (T, t)

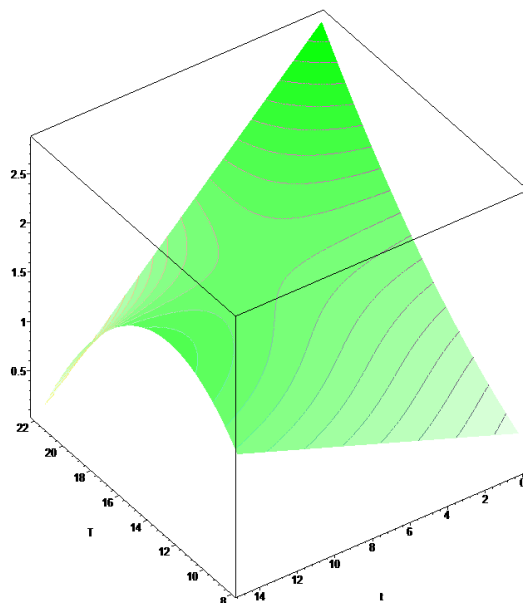


Рис. 15. Интенсивность развития проростков по продолжительности в координатах (T, t, P)

Наблюдается тенденция равномерного развития (накопления массы) проростка, сочетающего два процесса расходования запасного белка и запасного крахмала с разной интенсивностью и с выделенным плато устойчивости, что может быть связано с активацией ферментного аппарата, регулирующего оба процесса.

4. Влияние величин массы израсходованных субстратов от посева до всходов на ин-

тенсивность процесса развития проростков семян пшеницы. Накопленная (сухая) масса $(P, \text{мг} \cdot 10^2)$ проростков для фракции 100 семян в зависимости от массы израсходованного белка $(B, \text{мг} N)$ и массы израсходованного крахмала $(K, \text{мг} C)$ представляется полиномиальной функцией (рис. 16)

$$P(B, K) = 0.6611532124 + 0.1092369917 B + 0.01014208873 K + 0.0009985499151 B K - 0.003325040438 B^2 - 0.0000784946488 K^2$$

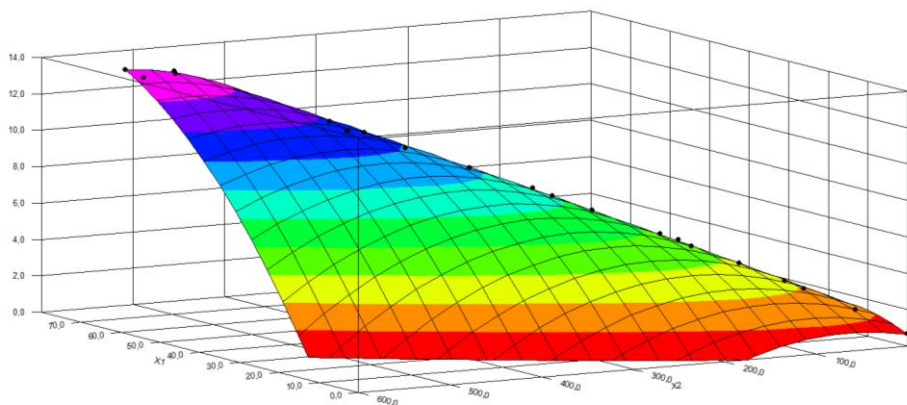


Рис. 16. Опытные данные и поверхность отклика накопленной (сухой) массы проростков для фракции 100 семян при израсходованном субстрате

Визуальный анализ поверхности отклика и областей интенсивности накопления (сухой) массы по белку и по крахмалу показывает, что вклад процессов расходования субстратов проходит локально равномерно (любая малая область устроена как часть плоскости). В целом поверхность отклика накопленной массы выпукла вверх, а поверхности интенсивности по белку и крахмалу близки к плоскостям.

Интенсивность ($P_B, \frac{мг 10^2}{мг N}$) развития проростков по израсходованному белку в зависимости от массы израсходованного белка ($B, мг N$) и массы израсходованного крахмала ($K, мг C$) представляется полиномиальной функцией (рис. 17, 18):

$$P_B(B, K) = 0.1092369917 + 0.0009985499151 K - 0.006650080876 B$$

Интенсивность ($P_K, \frac{мг 10^2}{мг C}$) развития проростков по израсходованному крахмалу в зависимости от массы израсходованного белка

($B, мг N$) и массы израсходованного крахмала ($K, мг C$) представляется полиномиальной функцией (рис. 19, 20)

$$P_K(B, K) = 0.01014208873 + 0.0009985499151 B - 0.0001569892976 K$$

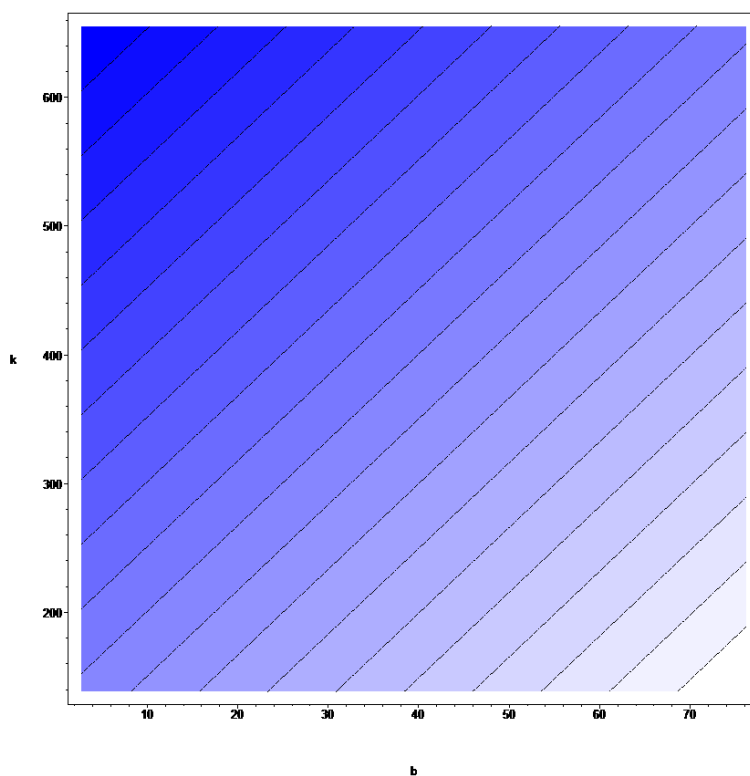


Рис. 17. Области интенсивности развития проростков по израсходованному белку в координатах (B, K)

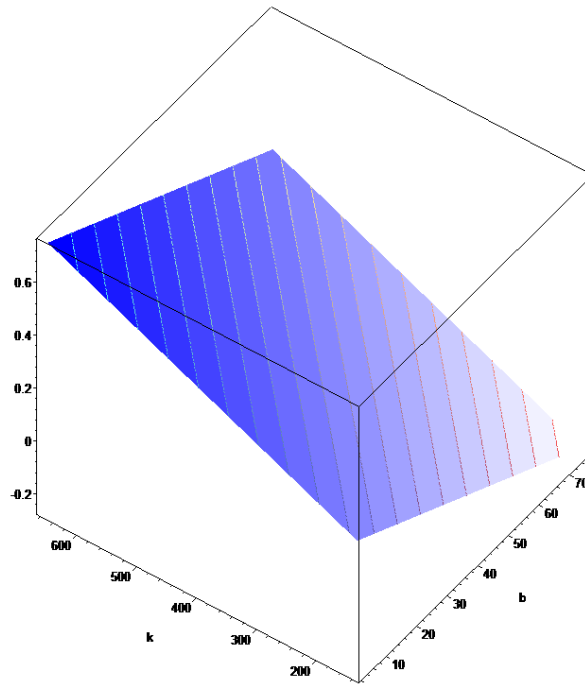


Рис. 18. Интенсивность развития проростков по израсходованному белку в координатах (B, K, P)

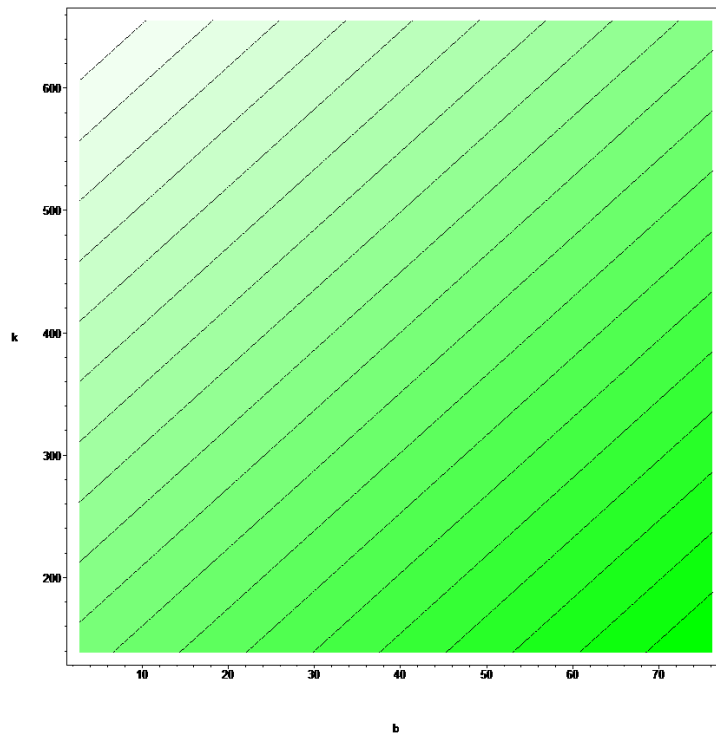


Рис. 19. Области интенсивности развития проростков по израсходованному крахмалу в координатах (B, K)

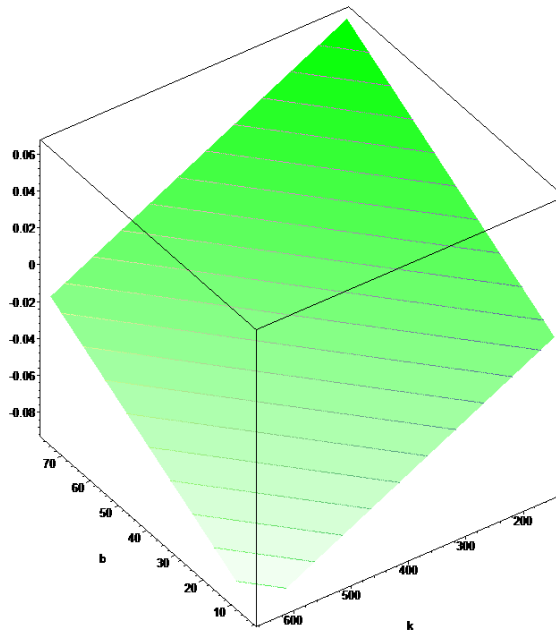


Рис. 20. Интенсивность развития проростков по израсходованному крахмалу в координатах (B, K, P)

Выполненная компьютерная имитация показателей развития проростков до всходов показала, что область устойчивого плато расширяется при повышении уровня расходования запасного субстрата семян и на практике соответствует выбору и предпочтению более энергетически ценных сортов пшеницы. В научном сообществе и среди специалистов отмечается факт получения высоких урожаев продовольственного зерна – основного сырья для хлебопекарной промышленности лишь при использовании качественных семян.

Выводы

1. Выявленные и исследованные закономерности процессов расходования субстратов семян, на примере модельного сорта пшеницы на заданных температурных режимах с уровнем детерминации свыше 95 %, показали возможность прогнозирования динамики процесса развития проростка в период до всходов.

2. Вклад частных процессов расходования субстратов в общий процесс развития проростков (накопления массы) проходит локально равномерно и сопровождается изменением роста интенсивности расходования запасного белка

на его снижение при почти равномерном снижении интенсивности расходования крахмала.

3. Предложенный теоретический подход может быть использован для дальнейшего поиска биотехнологического механизма программирования всхожести семян с использованием метеорологических данных.

Литература

1. Асанов А.З. Моделирование и анализ динамических систем. – Набережные Челны: Камский ГПИ, 2004. – 152 с.
2. Бадина Г.В., Яблоков Ю.Н., Сеницына С.М. Семеноводство полевых культур. – Л.: Колос, Ленингр. отд-ние, 1983. – 272 с.
3. Васько В.Т. Основы семеноведения полевых культур. – СПб.: Лань, 2012. – 304 с.
4. Гуляев Г.В., Дубинин А.П. Селекция и семеноводство полевых культур с основами генетики. – М.: Колос, 1980. – 375 с.
5. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). – 5-е изд., доп. и перераб. – М.: Агропромиздат, 1985. – 351 с.
6. Ермаков А.И. Методы биохимического исследования растений. – Л.: Агропромиздат, 1987. – 430 с.

7. Кобзарь А.И. Прикладная математическая статистика для инженеров и научных работников. – М.: Физматлит, 2012. – 816 с.
8. Полевой А.Н. Прикладное моделирование и прогнозирование продуктивности посевов. – Л.: Гидрометеиздат, 1988. – 208 с.
9. Лосев А.П., Журина Л.Л. Агрометеорология. – М.: Колос, 2001. – 297 с.
10. Моисеев Н.Н. Математические задачи системного анализа. – М.: Наука, 1981. – 448 с.
11. Draper, Norman R. and Smith, Harry. Applied Regression Analysis. – New York: Wiley, 1998. – 3 rd. ed. – 389 p.
12. Montgomery, Douglas C. Introduction to Statistical Quality Control. – 2 rd. ed. – New York: John Wiley & Sons, 1991. – 243 p.
13. Stuart A., Ord K. Kendall's Advanced Theory of Statistics. Distribution Theory. – London: Edward Arnold, 1998. – 6 th ed. – V. 1. – 375 p.
4. Guljaev G.V., Dubinin A.P. Selekcija i semenovodstvo polevyh kul'tur s osnovami genetiki. – М.: Kolos, 1980. – 375 s.
5. Dospehov B.A. Metodika polevogo opyta (s osnovami statisticheskoj obrabotki rezul'tatov issledovanij). – 5-e izd., dop. i pererab. – М.: Agropromizdat, 1985. – 351 s.
6. Ermakov A.I. Metody biohimicheskogo issledovanija rastenij. – L.: Agropromizdat, 1987. – 430 s.
7. Kobzar' A.I. Prikladnaja matematicheskaja statistika dlja inzhenerov i nauchnyh rabotnikov. – М.: Fizmatlit, 2012. – 816 s.
8. Polevoj A.N. Prikladnoe modelirovanie i prognozirovanie produktivnosti posevov. – L.: Gidrometeoizdat, 1988. – 208 s.
9. Losev A.P., Zhurina L.L. Агрометеорологија. – М.: Kolos, 2001. – 297 s.
10. Moiseev N.N. Matematicheskie zadachi sistemnogo analiza. – М.: Nauka, 1981. – 448 s.

Literatura

1. Asanov A.Z. Modelirovanie i analiz dinamicheskikh sistem. – Naberezhnye Chelny: Kamskij GPI, 2004. – 152 s.
2. Badina G.V., Jablokov Ju.N., Sinicyna S.M. Semenovodstvo polevyh kul'tur. – L.: Kolos, Leningr. otd-nie, 1983. – 272 s.
3. Vas'ko V.T. Osnovy semenovedenija polevyh kul'tur. – SPb.: Lan', 2012. – 304 s.
11. Draper, Norman R. and Smith, Harry. Applied Regression Analysis. – New York: Wiley, 1998. – 3 rd. ed. – 389 p.
12. Montgomery, Douglas C. Introduction to Statistical Quality Control. – 2 rd. ed. – New York: John Wiley & Sons, 1991. – 243 p.
13. Stuart A., Ord K. Kendall's Advanced Theory of Statistics. Distribution Theory. – London: Edward Arnold, 1998. – 6 th ed. – V. 1. – 375 p.

