

ОСОБЕННОСТИ РОСТА И РАЗВИТИЯ СОРТОВ ДВУРЯДНОГО (*v. nutans*) И ШЕСТИРЯДНОГО (*v. rikutense*) ЯЧМЕНЯ В УСЛОВИЯХ СВЕТОКУЛЬТУРЫ

А.А Тихомиров^{1,2}, доктор биологических наук, С.А. Ушакова¹, В.В Величко^{1,2}, В.Н Шихов¹, Е.С. Шклавцова¹, кандидаты биологических наук, А.М Павлова¹, Н.А. Сурин³, академик РАН, С.А. Герасимов³, кандидат сельскохозяйственных наук, С.С. Голубев³, Л.В. Плеханова³, кандидат сельскохозяйственных наук

¹Институт биофизики СО РАН, Федеральный исследовательский центр Красноярского научного центра СО РАН, 660036, г. Красноярск, Академгородок, 50/50

²Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева, 660037, г. Красноярск, просп. им. газеты Красноярский рабочий, 31

³Красноярский научно-исследовательский институт сельского хозяйства, Федеральный исследовательский центр Красноярского научного центра СО РАН, 660002, г. Красноярск, пр. Свободный, 66
E-mail: alex-tikhomirov@yandex.ru,

*Исследования проводили с целью выявления особенностей роста и развития растений разных сортов ячменя в условиях светокультуры как метода ускоренного размножения селекционного материала с последующим завершающим отбором перспективных образцов в полевых условиях региона районирования. В качестве объектов исследования использовали двурядный яровой ячмень сорта Такмак (*v. nutans*) и многорядный яровой ячмень сорта Емеля (*v. rikutense*). Растения выращивали методом гидропонии на керамзите в контролируемых условиях среды при интенсивности фотосинтетически активной радиации 690 ± 70 мкмоль/м²·с и фотопериоде 17 ч света и 7 ч темноты. Свето-температурные условия в вегетационных камерах соответствовали средним значениям для региона районирования (Красноярский край). Скорость протекания отдельных фаз онтогенеза сортов ячменя Такмак и Емеля в условиях светокультуры была медленнее, чем в полевых условиях, и составила соответственно 104 и 99 суток, против 88 и 94 суток. Наиболее сильные межсортовые морфологические различия в светокультуре у сортов Емеля и Такмак отмечены в образовании побегов: соответственно $5,1 \pm 1,2$ и $19,0 \pm 2,4$ шт. (продуктивных $3,7 \pm 1,0$ и $3,3 \pm 1,2$ шт.), в то время как в полевых условиях они были не столь значительными – 1,3 и 1,8 шт. (все продуктивные). Резкое увеличение побегообразования у сорта Такмак потребовало дополнительных затрат ассимилятов на их поддержание, что снизило выход зерна до $0,7 \pm 0,2$ г на растение и увеличило период созревания до 104 суток, в то время как для сорта Емеля величины этих показателей были равны соответственно $2,4 \pm 0,3$ г и 99 суток. Качество зерна исследуемых сортов в условиях светокультуры было сопоставимым и заметно выше, чем в полевых условиях.*

FEATURES OF GROWTH AND DEVELOPMENT OF VARIETIES OF DOUBLE ROW (*v. nutans*) AND SIX-ROW BARLEY (*v. rikutense*) IN THE CONDITIONS OF LIGHT CULTURE

Tikhomirov A.A.^{1,2}, Ushakova S.A.¹, Velichko V.V.^{1,2}, Shikhov V.N.¹, Pavlova A.M.¹, Shklavtsova E.S.¹, Surin N.A.³, Gerasimov S.A.³, Golubev S.S.³, Plekhanova L.V.³

¹Institute of Biophysics SB RAS, Federal Research Center "Krasnoyarsk Science Center SB RAS", 660036, Krasnoyarsk, Akademgorodok, 50/50

²M.F. Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, 660037, Krasnoyarsk, pr. im. gazety` Krasnoyarskij rabochij, 31

³Krasnoyarsk Research Institute of Agriculture, Federal Research Center "Krasnoyarsk Science Center SB RAS" 660002, Krasnoyarsk, prosp. Svobodny`j, 66
E-mail: alex-tikhomirov@yandex.ru

*The aim of the study was to identify the features of the growth and development of plants of different varieties of barley in the conditions of light culture, as a method of accelerated reproduction of breeding material, followed by the final selection of promising samples in the field for a given region of zoning. Two-row spring barley of the Takmak (*v. nutans*) variety and six-row spring barley of the Emelya (*v. rikutense*) variety were used as objects of research. The plants were grown by hydroponics on expanded clay under controlled environmental conditions at a photosynthetically active radiation intensity of 690 ± 70 mmol/m²·s and at a photoperiod of 17 hours of light and 7 hours of darkness. The light-temperature conditions of growing barley plants in the growing chambers corresponded to their average values for the zoning region (experimental farm «Minino» of the Krasnoyarsk Territory). The rate of the individual phases of ontogenesis of the studied varieties of barley Takmak and Emelya in light culture conditions was slower and amounted to 104 and 99 days, versus 88 and 94 days in the field, respectively. The strongest intersort morphophysiological differences in light culture were noted in the varieties Emelya and Takmak in the formation of shoots: 5.1 ± 1.2 and 19.0 ± 2.4 (productive 3.7 ± 1.0 and 3.3 ± 1.2), respectively, while for field conditions these differences were not so significant (1.3 and 1.8, respectively, all productive). A sharp increase in shoot formation in Takmak required additional costs of assimilates for their maintenance, which reduced the yield of grain per plant to 0.7 ± 0.2 g and increased its ripening period to 104 days, while for the Emelya variety these indicators were 2.4 ± 0.3 g and 99 days, respectively. The differences in grain quality were comparable for light culture conditions, but noticeably higher compared to field conditions.*

Ключевые слова: Красноярский край, опытное хозяйство «Минино», ячмень сортов Емеля и Такмак, светокультура растений, рост и развитие растений, урожайность.

Key words: Krasnoyarsk Territory, experimental farm «Minino», barley varieties Emelya and Takmak, light culture of plants, plant growth and development, yield.

В связи с тем, что лимитирующие факторы внешней среды, присущие естественным условиям выращивания, в условиях светокультуры могут быть устранены это дает возможности для более полного раскрытия потенциала роста и развития растений. К лимитирующим факторам, в первую очередь, могут быть отнесены температура, освещение, условия минерального питания, а также другие меняющиеся в природе параметры среды. Поэтому не случайно, метод светокультуры растений может быть эффективно использован для решения комплекса научных [1, 2] и практических [3, 4, 5] задач в сельском хозяйстве, селекции растений и ряде других направлений. Одна из таких задач – использование метода интенсивной светокультуры для ускоренного селекционного отбора растительных образцов с последующим продолжением процесса в полевых условиях [6]. Это резко уменьшает общую продолжительность селекционного процесса. Однако при всей привлекательности такого метода всегда остается открытым вопрос адекватности процессов роста и развития в условиях светокультуры и в поле. Поэтому перед планированием ускоренной селекции растений с использованием светокультуры необходимо проведение предварительных экспериментов для понимания реакции растительных образцов на безлимитные условия выращивания.

Цель исследований – выявление реакции растений (на примере разных сортов ячменя) на безлимитные условия выращивания для определения возможности их предварительной селекции и размножения в условиях светокультуры с окончательным отбором перспективных образцов в поле.

Методика. В качестве объектов исследования были взяты сорта ярового ячменя селекции НИИСХ ФИЦ КНЦ СО РАН – двурядный Такмак (<https://reestr.gossortrf.ru/sorts/8356368/>) и шестирядный Емеля (<https://reestr.gossortrf.ru/sorts/8458001/>). Исследования проводили в двух герметизируемых вегетационных камерах, объемом 3 м³, высотой 1,3 м. Площадь посева 2 м². В качестве источников света в каждой камере использовали 4 металлогалогенные лампы: 2 лампы ДРИ 2000-6 (ООО «Лисма», Россия) и 2 лампы ДМЗ-3000 (МЭЛЗ, СССР) [7]. Газообмен в вегетационных камерах измеряли с использованием газоанализатора LI-820 (LI-COR, США) со шкалой от 0 до 2000 ppm. Концентрация CO₂ составляла около 0,04 %.

Интенсивность ФАР измеряли квантометром LI-250A (Li-COR, США). При проведении исследований она находилась на уровне 690 ± 70 мкмоль/м²·с, что соответствовало 150 ± 15 Вт/м².

Для моделирования свето-температурных условий произрастания были выбраны усредненные метеопараметры (табл. 1) опытного хозяйства Красноярского НИИСХ «Минино» (пункт создания изучаемых сортов). Величины были получены путем усреднения данных за многолетнюю историю метеонаблюдений. В качестве источников информации для расчёта использовали доступные интернет-ресурсы и серверы ([https://power.larc.](https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/)

Табл. 1. Свето-температурные условия выращивания растений ячменя в вегетационных камерах

Месяц	Длительность, ч		Температура, °С	
	день	ночь	ночь	день
Июнь	17:30	6:30	13,5±1,0	23,5±1,2
Июль	17:00	7:00	14,5±1,5	25,6±1,5
Август	15:00	9:00	14,1±1,7	23,9±1,7

[nasa.gov/data-access-viewer/](https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/); <http://timezone.ru/suncalc.php?tid=62>).

Метод выращивания – гидропоника на керамзите. Для приготовления питательного раствора использовали смесь Кнопа с добавками микроэлементов и цитрата железа. Полив осуществляли методом подтопления 3 раза через равные промежутки времени в течение светового дня. Семена высевали на глубину 5 см от верхнего уровня керамзита в вегетационные сосуды из расчёта 500 шт./м². Для сравнения были взяты характеристики, полученные в поле при наиболее благоприятных условиях выращивания: для сорта Емеля это был 2020 г., для сорта Такмак – 2019 г.

Экстракцию фотосинтетических пигментов проводили 96 %-ным этанолом из листьев главного побега, их концентрацию в экстрактах определяли на спектрофотометре UNICO-2804 (UNICO, США) и рассчитывали по формулам Wintermans, DeMots [8]. Аналитическую повторяемость трехкратная. Уровень перекисного окисления липидов листьев главных побегов ячменя определяли по накоплению малонового диальдегида (МДА) в листьях с помощью цветной реакции тиобарбитуровой кислотой (ТБК) и последующим определением концентрации ТБК на спектрофотометре UNICO-2804 (UNICO, США) на длине волны 532 нм [9].

Показатели CO₂ газообмена ценозов ячменя оценивали по изменению концентрации CO₂ в течение светового дня в диапазоне 450...350 ppm после герметизации камеры. Интенсивность видимого фотосинтеза (P_{вид}) определяли по скорости уменьшения концентрации CO₂ на свету, дыхание на свету (R) – по скорости увеличения концентрации CO₂ в первые 30 мин после выключения света, фактический фотосинтез (P_{факт}) считали равным сумме P_{вид} и R [10].

Для анализа структурных и функциональных характеристик листового аппарата растений ячменя исследовали ряд ключевых показателей на примере листьев главного побега.

Содержание протеина в зерне оценивали по количеству азота, измеренного методом Кьельдаля, с пересчетным коэффициентом 6,25 (ГОСТ 13496.4-2019). Общее содержание углеводов в пробах определяли модифицированным антроновым методом (ГОСТ 26176-2019) с предварительным гидролизом в 3 %-ной серной кислоте, общее содержание липидов – гравиметрически (ГОСТ 29033-91).

Статистический анализ результатов проводили с использованием стандартного программного пакета Microsoft Excel. Средние значения и стандартные ошибки оценивали при избранной доверительной вероятности P = 0,95.

Результаты и обсуждение. Фаза кущения ячменя сорта Емеля в условиях светокультуры и в поле началась на 11 сутки после всходов, но ее длительность в поле была на 4 суток короче (табл. 2). Одновременно продолжительность фазы колошения в поле оказалась на 5 суток дольше, чем в условиях светокультуры, а налива зерна на 6 суток меньше.

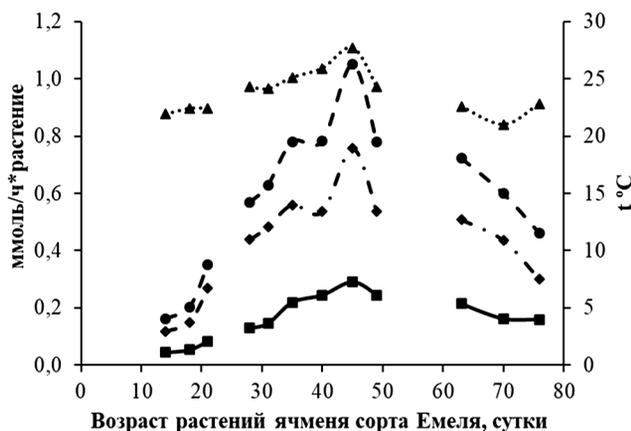
У ячменя сорта Такмак отмечено более значительное увеличение сроков развития растений в светокультуре. Вегетационный период растений в поле оказался на 16 суток меньше, чем в светокультуре (см. табл. 2). В искусственных условиях отмечали варьирование длительности прохождения фазы кущения у растений, что связано с интенсивным побегообразованием, обусловленным генетическими особенностями растений по этому признаку. Кущение растений ячменя сорта Такмак в светокультуре началось позже, чем у растений

Табл. 2. Фазы развития растений ячменя сортов Емеля и Такмак в условиях светокультуры и в полевых условиях

Фаза развития	Переход к фазе развития, в сутках от всходов			
	ячмень сорта Емеля		ячмень сорта Такмак	
	свето-культура	поле	свето-культура	поле
Всходы	0	0	0	0
Кущение	11	11	15	9
Колошение	44	40	59...68	39
Восковая спелость	83	84	93...100	79
Полная спелость	99	94	104	88

сорта Емеля, на 4 суток, а колошение, как минимум, на 15 суток. При этом начало колошения растений ячменя сорта Такмак растянулось на 9 суток.

Длительность фазы кущения у ячменя сорта Такмак была на 11...20 суток дольше, чем у сорта Емеля. Различия в прохождении последующих фаз роста и развития сокращались, в результате растения сорта Такмак были убраны всего на 5 сут. позже.



дальнейшем изменения их количества не выходили за пределы погрешности. Это связано с тем, что общая и продуктивная кустистость у двурядных ячменей выше, чем у многорядных [11].

Следует отметить, что у растений ячменя сорта Такмак побегообразование продолжалось даже во время фазы колошения, а общее число побегов в фазе восковой спелости более чем в 5 раз превышало величину этого показателя у растений сорта Емеля. В фазе молочно-восковой спелости (80 сут у ячменя сорта Емеля и 90 сут у ячменя сорта Такмак) доля побегов с колосьями у ячменя сорта Емеля составляла 86 % от их общего числа ($4,3 \pm 1,4$ от $5,0 \pm 1,5$), а у ячменя сорта Такмак только около 30 % ($8,3 \pm 1,4$ от $28,3 \pm 4,6$).

До фазы выхода в трубку существенных различий между сортами по площади листьев главного побега не наблюдали. Затем из-за повышенной плотности стеблестоя у ячменя сорта Такмак началось более значительное пожелтение нижних листьев, что привело к уменьшению суммарной фотосинтетической поверхности: у ячменя сорта Емеля в фазе молочно-восковой спелости площадь живых листьев главного побега была равна $0,53 \pm 0,06$ дм², а у ячменя сорта Такмак в этой же фазе развития – $0,33 \pm 0,04$ дм².

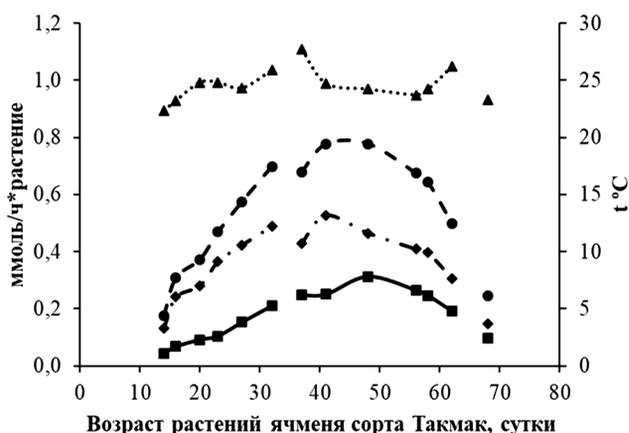


Рис. 1. Видимый фотосинтез ($P_{\text{вид}}$), фактический фотосинтез ($P_{\text{факт}}$) и дыхание (R) ценозов ячменя сортов Емеля и Такмак в условиях светокультуры (в расчете на 1 растение): —♦— — $P_{\text{вид}}$; —■— — R ; —●— — $P_{\text{факт}}$; ...▲... — t °C.

Максимальная в опыте величина показателя видимого фотосинтеза ($P_{\text{вид}}$), характеризующего скорость прироста биомассы, у растений ячменя во время фотопериода, наблюдали во временном диапазоне от 30 до 50 суток (конец фаз кущения и переход к фазе колошения). Окончание фазы колошения характеризовалось фактическим завершением формирования вегетативных органов главного побега и части боковых побегов. При этом в период от 40 до 50 суток значение $P_{\text{вид}}$ у растений ячменя сорта Емеля было на 20 % выше, чем у растений сорта Такмак (рис. 1).

Это связано с продолжением побегообразования у растений двурядного ячменя сорта Такмак, что привело к загущению посева и нарушению прохождения света к ниже расположенным ярусам листьев. В дальнейшем интенсивность $P_{\text{вид}}$ растений ячменя сорта Емеля была в 1,5...2,0 раза выше, чем у ячменя сорта Такмак. Разница между величинами показателя фактического поглощения CO_2 ($P_{\text{факт}}$) была аналогична $P_{\text{вид}}$ с некоторой поправкой из-за небольших отличий по интенсивности дыхания (см. рис. 1).

Побегообразование у ячменя сорта Емеля прекратилось к началу фазы выхода в трубку (рис. 2) и в

В фазе молочно-восковой спелости у ячменя сорта Емеля в возрасте 80 суток после посева жизнеспособными оставались листья 6, 7 и 8 ярусов. У растений ячменя



Рис. 2. Внешний вид ячменя сортов Емеля (а) и Такмак (б) в фазе выхода в трубку.

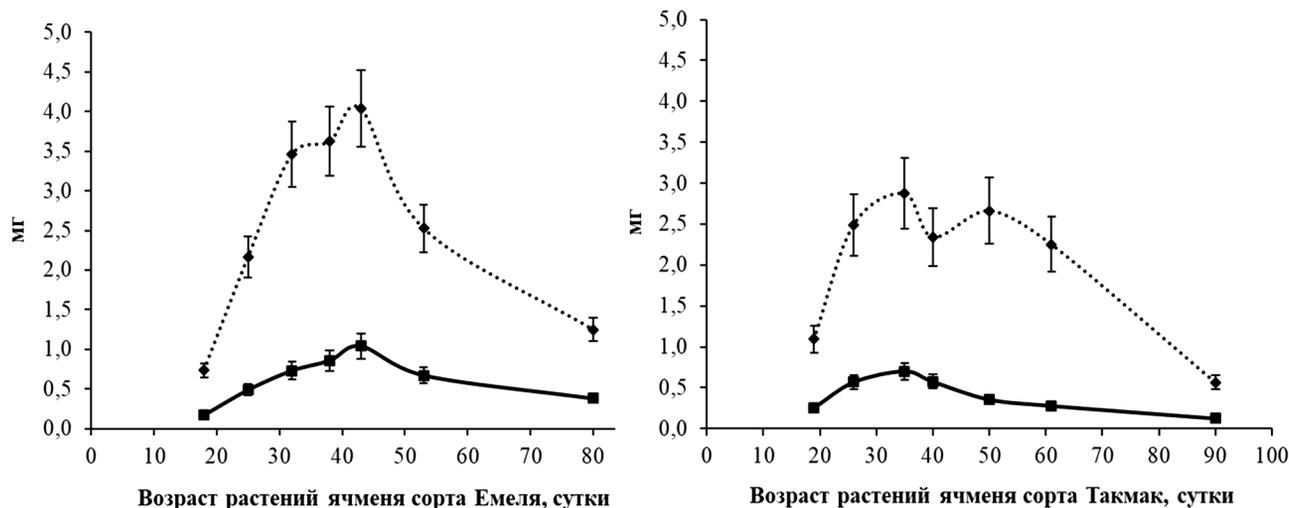


Рис. 3. Суммарное содержание фотосинтетических пигментов в листьях главного побега растений ячменя сортов Емеля и Такмак в условиях светокультуры в зависимости от их возраста: ...◆... – хлорофиллы (a + b); —■— – каротиноиды.

сорта Такмак в этой же фазе в возрасте растений 90 суток от посева таковыми были только листья 8 яруса, сырая масса которых уменьшилась на 80 %.

График, отражающий общее содержание зеленых пигментов в листьях главного побега ячменя сорта Емеля, имеет вид одновыпуклой кривой с максимальным содержанием хлорофиллов (a+b) в листьях главного побега более $4,1 \pm 0,4$ мг в возрасте растений 43 сут (рис. 3). У аналогичного графика для ячменя сорта Такмак нет четко выраженного максимума. В период вегетации с 35 до 61 сут содержание хлорофиллов находилось на плато и не превышало $2,9 \pm 0,3$ мг. Суммарное содержание хлорофиллов в листьях главного побега ячменя сорта Емеля в фазе молочно-восковой спелости было более, чем в 2 раза выше, по сравнению с листьями главного побега ячменя сорта Такмак в этой же фазе развития. Вид кривых, отражающих общее содержание каротиноидов в листьях главного побега ячменя изучаемых сортов, повторяет ход кривых, характеризующих концентрацию хлорофилла в листьях.

Результаты оценки состояния клеточных мембран листьев изучаемых сортов ячменя свидетельствуют о том, что в первые 26 суток вегетации концентрация МДА в листьях верхних ярусов главного побега расте-

ний ячменя находилась на одном уровне. В дальнейшем у ячменя сорта Такмак она была значительно больше, чем у сорта Емеля: в возрасте 50 суток величина этого показателя составляла соответственно $280 \dots 310$ нмоль/г сухой массы и $94 \dots 180$ нмоль/г сухой массы. Это указывает на тот факт, что фотосинтетический аппарат листьев ячменя сорта Такмак испытывал окислительный стресс, в результате которого наблюдалось увеличение содержания МДА, связанное, видимо, с повреждением клеточных мембран [12].

Сырая масса растений ячменя сорта Емеля увеличивалась примерно до 50 возраста суток, считая от посева, и оставалась таковой вплоть до фазы молочно-восковой спелости (рис. 4). Сухая масса растений в этот же вегетационный период продолжала увеличиваться, а содержание воды в общей биомассе уменьшалось, в результате доля сухого вещества в растениях к 80 суткам составляла 23% против 10% в возрасте растений 43 суток. Примерно такое же соотношение массы сырого и сухого вещества наблюдалось у главного побега.

Сырая масса растений ячменя сортов Такмак и Емеля до 50 сут достоверно не различалась, но доля сухого вещества в этом возрасте у ячменя сорта Такмак уже была в 1,8 раза выше. За следующие 10 суток сырая масса у сорта Такмак в результате продолжающегося

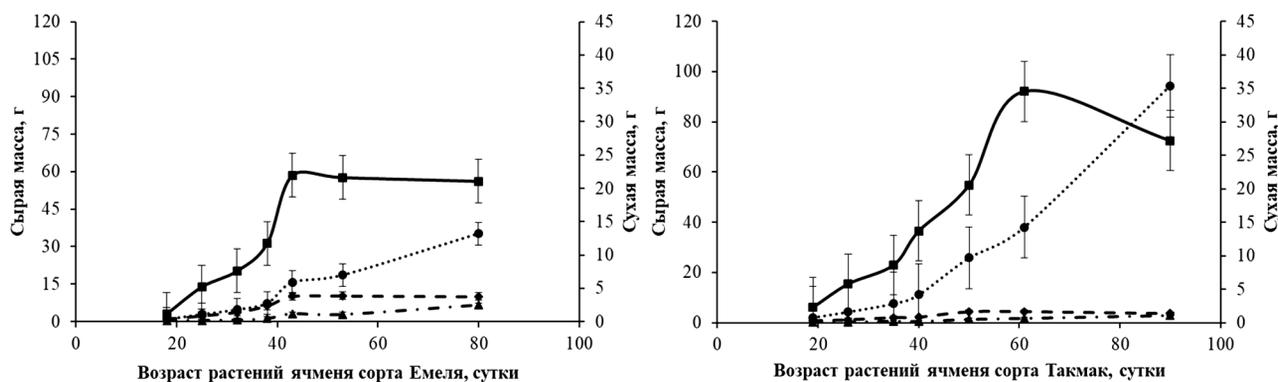


Рис. 4. Масса растений ячменя сортов Емеля и Такмак в условиях светокультуры в зависимости от возраста: —◆— сырая масса главного побега, г; —■— сырая масса 1 растения, г; —▲— сухая масса главного побега, г; ...◆... сухая масса 1 растения, г.

образования боковых побегов увеличилась в 1,7 раза. Затем она начала снижаться.

В фазе молочно-восковой спелости (80 суток у ячменя сорта Емеля и 90 суток у ячменя сорта Такмак) сырая масса растений сорта Такмак была больше, чем у сорта Емеля, в 1,3 раза, сухая – в 2,7 раза. При этом у главного побега величины этого показателя были выше у ячменя сорта Емеля – в 2,7 и 2,2 раза соответственно.

К уборке в условиях светокультуры количество побегов у растений ячменя сорта Емеля было почти в 4 раза больше, чем в поле, у сорта Такмак – почти в 11 раз (табл. 3). Число продуктивных побегов у ячменя сорта Емеля в светокультуре было больше, по сравнению с величиной этого показателя в полевых условиях, в 2,8 раза, сорта Такмак – в 1,8 раза. Масса зерна с 1 растения сорта Емеля, вегетировавшего в светокультуре, была выше, чем в полевых условиях, в 2,9 раза, масса 1000 зерен – в 1,3 раза. У растений ячменя сорта Такмак картина была обратной, растения в поле превосходили, выросшие в светокультуре соответственно в 1,9 раза и 1,8 раза.

Содержание протеина и липидов в зерне главных побегов ячменя сорта Емеля, выращенных в светокультуре, было соответственно на 3 % и 2,5 % больше, а углеводов на 6 % меньше, чем в аналогичном зерне, выросшем в поле. В зерне боковых побегов количество протеина не зависело от условий выращивания, содержание липидов в зерне растений в светокультуре было на 1,6 % больше, а углеводов – на 9 % меньше, чем в зерне, собранном в полевых условиях. Примерно такая же картина прослеживается при сравнении биохимического состава зерна ячменя сорта Такмак, выращенного в разных условиях (см. табл. 3). Сравнение биохимического состава зерна ячменя сортов Емеля и Такмак, выращенного в условиях светокультуры, не показало достоверных различий.

Изложенные результаты сравнительного исследования сортов ячменя Емеля и Такмак в условиях светокультуры и поле свидетельствуют о том, что заложенный в растениях генетический потенциал при снятии лимитирующих факторов может реализовываться по-разному и не всегда в пользу роста хозяйственно-

полезного урожая. Снятие основных лимитов (в первую очередь, по минеральному питанию) привело к резкому увеличению вегетативной массы растений, что, в принципе, можно считать вполне обоснованным. Однако характер процессов развития у сортов Емеля и Такмак существенно различался. В первую очередь это отразилось на процессах кущения, в результате которых количество боковых побегов у растений сорта Такмака было более чем в 3 раза выше, чем у сорта Емеля. Такое резкое увеличение побегообразования на фоне отсутствия лимитов в условиях минерального питания сопровождалось резким увеличением потребности в ассимилятах, что, в конечном счете, резко увеличило сроки вегетации у Такмака и создало дефицит питательных веществ для формирования полноценного хозяйственно-полезного урожая. Более ограниченный процесс побегообразования у сорта Емеля на фоне отсутствия дефицита минерального питания позволил сформироваться полноценному главному побегу, а также увеличенному количеству боковых побегов, что обеспечило получение высокого урожая зерна этого сорта ячменя в условиях светокультуры.

Отмеченные существенные различия в процессах роста и развития исследуемых сортов ячменя, вероятно, обусловлены генетически, их трудно спрогнозировать теоретически, и можно обнаружить только при снятии основных лимитов внешних факторов воздействия, что достигается только в контролируемых условиях выращивания.

Таким образом, раскрытие потенциала сорта в контролируемых условиях среды не всегда сопровождается обязательным увеличением его хозяйственно-полезной продуктивности. При этом метод светокультуры позволяет экспериментально спрогнозировать вектор изменчивости сорта при снятии лимитирующих факторов среды. В одних случаях (сорт Емеля) это способствует увеличению урожайности, в других (сорт Такмак) – ее снижению. Использование такого решения позволяет более обоснованно подходить к оценке перспектив выращивания различных сортов в регионах с разными климатическими условиями и плодородием почв.

Табл. 3. Характеристика растений сортов ячменя Емеля и Такмак, достигших состояния технической зрелости, при выращивании в условиях светокультуры и в поле

Показатель	Сорт Емеля		Сорт Такмак	
	светокультура	поле	светокультура	поле
Высота растений, см	123,9±3,1 ^{a*}	98,4±2,8 ^b	92,2±3,1 ^b	71,4±3,2 ^c
Длина стебля, см	108,5±4,0 ^a	н.о.	71,0±2,2 ^b	н.о.
Число побегов, с главным	5,1±1,2 ^a	1,3±0,2 ^b	19,0±2,4 ^c	1,8±0,2 ^b
Число продуктивных побегов	3,7±1,0 ^a	1,3±0,2 ^b	3,3±1,2 ^a	1,8±0,3 ^b
Масса зерна 1 растения, г	2,4±0,3 ^a	0,8±0,3 ^b	0,7±0,2 ^b	1,3±0,5 ^b
Масса 1000 зерен, г	44,1±1,2 ^a	34,7±1,1 ^b	26,2±1,1 ^a	45,7±0,8 ^b
Содержание протеина в зерне, %: главные побеги	19,3±1,0 ^a	16,3±0,6 ^b	18,4±0,9 ^a	17,6±1,1 ^{ab}
боковые побеги	21,7±1,5 ^a	21,3±1,5 ^a	25,3±1,2 ^b	18,8±1,2 ^a
Содержание липидов в зерне, %: главные побеги	7,7±0,3 ^a	5,2 ±0,4 ^b	6,6±0,6 ^a	4,9±0,3 ^b
боковые побеги	8,5±0,4 ^a	6,9 ±0,6 ^b	7,2±0,6 ^a	6,0±0,6 ^a
Углеводы в зерне, %: главные побеги	61,5±3,5 ^{ab}	67,5±2,3 ^a	58,0±2,4 ^b	66,5±3,1 ^a
боковые побеги	53,0±4,8 ^a	62,0±3,4 ^{ab}	56,5±2,5 ^a	64,5±3,1 ^b

*достоверные различия при уровне значимости $p \leq 0,05$ в каждой строке отмечены разными буквами.

Литература.

1. Тихомиров А.А. Внутренний радиационный режим в фитоценозах и фотобиологическая эффективность излучения в условиях светокультуры. // *Светотехника*. 2021. № 1. С. 13–21.
2. Закурина А. О., Щенникова А. В., Камионская А. М. Светокультура растениеводства защищенного грунта: фотосинтез, фотоморфогенез и перспективы применения светодиодов // *Физиология растений*. 2020. Т. 67. С. 246–258.
3. Прикупец Л.Б. Светодиоды в тепличном освещении: возможности и реальность. // *Светотехника*. 2019. Специальный выпуск. С. 8–12.
4. Terekhov V. G. Irradiation System for a City Farm Automated Multi-Layer Phytoinstallation // *Light & Engineering*. 2019. V. 27. No. 6. P. 106–111.
5. Kaukoranta T., Särkkä L.E., Jokinen K. Energy efficiency of greenhouse cucumber production under LED and HPS lighting. // *Acta Horticulturae*. 2017. (1170). P. 967–972.
6. Лисовский Г.М., Долгушев В.А. Очерки частной светокультуры растений. Новосибирск: Наука. Сиб. Отд-ние, 1986. 128 с.
7. Левин И.А. Высокоинтенсивные трехфазные источники света // *Светотехника*. 1986. № 10. С. 8–10.
8. Гавриленко В.Ф., Жигалова Т.В. Большой практикум по фотосинтезу. М.: Академия. 2003. 241 с.
9. Лукаткин А.С., Голованова В.С. Интенсивность перекисного окисления липидов в охлажденных листьях теплолюбивых растений // *Физиология растений*. 1988. Т. 38. С. 773–780.
10. Analysis of the gas exchange and water balance in a closed experimental model of the artificial ecosystem intended for an estimated portion of a human / S. Ushakova, N. Tikhomirova, V. Velichko, et al. // *Acta Astronautica*. 2018. 152. P. 105 – 111.
11. Герасимов С.А., Липшин А.Г. Агробиологическая характеристика образцов ячменя коллекции ВИР по важнейшим направлениям селекции в Восточной Сибири // *Вестник КрасГАУ*. 2017. № 10. С. 3–8.
12. Лукаткин А. С. Вклад окислительного стресса в развитие холодового повреждения в листьях теплолюбивых растений: Образование активир. форм кислорода при охлаждении растений / *Физиология растений*. 2002. 49. С. 697–702.

Поступила в редакцию 20.02.2022

После доработки 05.03.2022

Принята к публикации 25.03.2022