

ORIGINAL ARTICLE

**Relation Between Frost-Resistance of Winter Grains, Their
Respiration Rate and Water – Soluble Carbohydrates Content
in Autumn - Spring Period**

Pomortsev A.V., Grabelnykh O.I., Dorofeev N.V., Peshkova A.A.,
Voinikov V.K.

*Siberian Institute of Plant Physiology and Biochemistry, Siberian Branch, Russian Academy of Science,
Irkutsk, Russian*

*E-Mail: [pomorcevanatolii@mail.ru](mailto:pomorceanatolii@mail.ru)

Received June 11, 2013

The content of water-soluble carbohydrates and respiration rate in the crown tissue of winter wheat, rye and triticale in autumn – winter – spring were studied. In the period and of winter significant differences were revealed between winter crops in the rate of respiration and content of carbohydrates. Respiration of wheat in mid-March increased over February to 33%, and the content of carbohydrates during this period decreased by 10%. Despite the increase in environment temperature by mid-March of winter rye and triticale showed not increase, but rather decrease in the rate of respiration. A higher level of plant resistance of winter rye and triticale to low temperatures, as compared to winter wheat is associated with carbohydrate status and higher stability of respiration process in winter rye and triticale in response to temperature rise in end of winter.

Key words: Winter wheat, respiration, frost- resistance, water – soluble carbohydrates

ORIGINAL ARTICLE

Связь Морозостойкости Озимых Зерновых с Интенсивностью Дыхания и Содержанием Водорастворимых Углеводов в Течение Осенне- Весеннего Периода

Поморцев А.В., Грабельных О.И.* , Дорофеев Н.В.,
Пешкова А.А., Войников В.К.

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Сибирский институт физиологии и биохимии растений Сибирского Отделения Российской Академии Наук, Иркутск

*E-Mail: pomorcevanatolii@mail.ru

Поступила в редакцию 13 июня 2013 г.

Исследовали возможную связь в гибели озимых зерновых (пшеница, рожь и тритикале), возделываемых в условиях Восточной Сибири, в период выхода растений из зимнего покоя с интенсивностью дыхания и расходом водорастворимых углеводов. Именно в этот период выявлены значительные различия между озимыми культурами в интенсивности дыхания и расходе углеводов. Озимая тритикале приближалась по изменению этих показателей к ржи, в то время как у озимой пшеницы наблюдали более высокое дыхание и расход углеводов. По данным полевых исследований морозостойкость была низкой у пшеницы и составила 70.8%, в сравнении с рожью и тритикале (95.8% и 91.6%, соответственно). Экспериментальные данные свидетельствуют о более высоком уровне устойчивости озимой ржи и тритикале к низким температурам, по сравнению с озимой пшеницей, что определяется углеводным статусом и большей стабильностью процесса дыхания у озимой ржи и тритикале в ответ на повышение температуры в конце зимы.

Key words: Winter wheat, respiration, frost- resistance, water – soluble carbohydrates

Переход озимых растений от активного роста к вынужденному зимнему покою сопровождается изменениями их устойчивости к низким отрицательным температурам. При низкотемпературной адаптации у растений возрастает содержание криопротекторов, среди

которых ведущее место занимают водорастворимые углеводы (Трунова, 2007). Наибольшее количество углеводов у озимых злаков при действии закаливающих температур накапливается в узлах кущения. Это происходит за счет усиления фотосинтеза, поскольку злаки

не накапливают значительного количества полисахаридов второго порядка (Колупаев, Карпец, 2010).

Сахара выполняют разнообразные функции в растительной клетке (Колупаев, Трунова, 1992), в том числе и как мессенджеры, участвующие в управлении экспрессией генов, вовлеченных в регуляцию фотосинтеза, роста и расходования энергетических ресурсов (Rose et al., 2009). Повышенное накопление углеводов в узлах кущения растений, вполне оправдано, поскольку именно этот орган обеспечивает восстановление роста и дальнейшее развитие растений. Сахароза и фруктоза - основные растворимые сахара в узлах кущения озимой пшеницы в осенний период (Zeng et al., 2011).

Основным показателем энергетического обмена в растениях является интенсивность дыхания. При низких температурах интенсивность дыхания падает и остается в сниженном состоянии (на невысоком уровне) в осенне-зимний период (Кравец, Великожон, 1984). Основопологающим фактом является то, что сахара являются основным источником субстрата для процесса дыхания (Головки, 1999).

В условиях Восточной Сибири в конце зимнего и в весенний период отмечается резкая флуктуация температуры воздуха: дневные температуры могут достигать положительных значений, а ночные – низких отрицательных температур (до минус 25 – 28 °С), что в свою очередь может представлять для озимых серьезную опасность. Несмотря на высокую морозостойкость узла кущения озимых злаков очень часто наблюдаются значительные повреждения, и даже гибель растений во время их выхода из зимнего покоя. Показано, что повреждение или гибель озимых происходит

именно в этот период (Дорофеев и др., 2004). И хотя причины гибели озимых культур в целом выяснены, механизмы обеспечивающие их устойчивость в данный период до конца не ясны.

В литературе отсутствует сведения о влиянии температур на энергетический обмен растений в конце зимнего периода. Поскольку основным показателем энергетического статуса растений, как отмечалось выше, является процесс дыхания, а субстратом его – сахара, мы предположили, что возможной причиной гибели растений в этот период, являются изменения этих двух показателей.

Основываясь на перечисленных выше фактах, мы и определили цель исследований рассмотреть влияние температурных колебаний на интенсивность дыхания узлов кущения озимых культур в конце зимы и сопоставить её со скоростью расхода углеводов.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Объектом исследования были растения озимой пшеницы (*Triticum aestivum* L. сорта Иркутская озимая), ржи (*Secale cereale* L. сортообразца № 21) и тритикале (*×Triticosecale hexaploidii (derzhavinii)* Kurk. et Filat. сортообразца № 430-6002). Посев проводили 20 августа, поскольку это оптимальный срок посева озимых в условиях Восточной Сибири (Дорофеев и др., 2004). Растительный материал (узлы кущения) для экспериментов отбирали в течение всего периода наблюдений - с сентября по май. Погодные условия за период исследований (2011 – 2012 гг.) характеризовались оптимальной температурой в осенние месяцы и суровым зимним периодом. Весной (конец марта – начало апреля) наблюдали положительные температуры воздуха днем и отрицательные в ночное время (рис. 1).

Определение интенсивности дыхания проводили полярографически с платиновым электродом закрытого типа в ячейке объемом 1.4 мл при 26 °С (Трушанов, 1973). Узлы кущения предварительно инфильтровали с помощью шприца (Александров, 1954) в растворе насыщенного кислородом буфера (100 мМ Трис-НCl, рН 9.5) и 0.5 мМ фениметилсульфонилфлюорида с добавлением или без добавления ингибиторов дыхания (Mizuno *et al.*, 2008).

Для ингибирования цитохромного пути дыхания использовали 0.8 мМ KCN, для ингибирования альтернативного пути дыхания - 2 мМ бензгидроксамовую кислоту (БГК). Такие же концентрации ингибиторов добавляли в ячейку полярографа. Поглощение кислорода, оставшееся после добавления KCN и БГК, не принимали в расчет дыхательной активности.

Водорастворимые углеводы экстрагировали горячей водой из абсолютно сухого материала и центрифугировали при 10000 g в течение 10 мин. К аликвоте надосадочной жидкости приливали удвоенное количество 0.2% раствора антраона в концентрированной серной кислоте. Через 15 мин плотность окрашенного комплекса измеряли на фотоколориметре (КФК – 2) при длине волны 620 нм против контроля, в котором вместо раствора сахаров была вода. Рассчитывали содержание углеводов по калибровочной кривой, построенной по сахарозе. Содержание углеводов представлено как процент от абсолютно сухого вещества.

РЕЗУЛЬТАТЫ

В период первой стадии закалки (сентябрь) озимых зерновых было отмечено

значительное содержание водорастворимых углеводов в узлах кущения у всех исследуемых культур (рис. 2а). Интенсивность дыхания в этот период у ржи и пшеницы была практически равной, а у тритикале более высокая (рис. 2б). Вторая фаза закалки (третья декада октября и первая декада ноября) характеризовалась максимальным содержанием водорастворимых сахаров.

Содержание углеводов возрастало в сравнении с сентябрем у всех культур: у ржи оно составляло 13%, у пшеницы – 10.2%, у тритикале – 7.3%. Такое повышение происходило на фоне значительного снижения интенсивности дыхания, оно уменьшилось по сравнению с сентябрем у ржи на 29%, у пшеницы – на 33%, у тритикале – на 42% (рис. 2б).

В конце зимы происходило значительное снижение водорастворимых углеводов по сравнению с их максимальным содержанием перед уходом в зиму. Именно в этот период обнаружены значительные различия между озимыми культурами в интенсивности дыхания и расходе углеводов. У озимой пшеницы наблюдали более высокую интенсивность дыхания и расход углеводов в сравнении с озимой рожью и тритикале.

Весной интенсивность дыхания снизилась, в сравнении с показаниями февраля, у ржи на 31%, а у тритикале на 41%, содержание углеводов уменьшилось у тритикале на 4.3%, а у ржи на 7.9%. У пшеницы была отмечена обратная картина. Интенсивность дыхания во второй декаде марта увеличилась по отношению к февралю на 33%, а расход углеводов за этот период составил 10%.

В конце марта у всех исследуемых культур интенсивность дыхания была сходной, но количество сахаров у озимой ржи и тритикале было выше по сравнению с пшеницей. До

конца наблюдений (апрель и май) существенных различий между культурами не было выявлено.

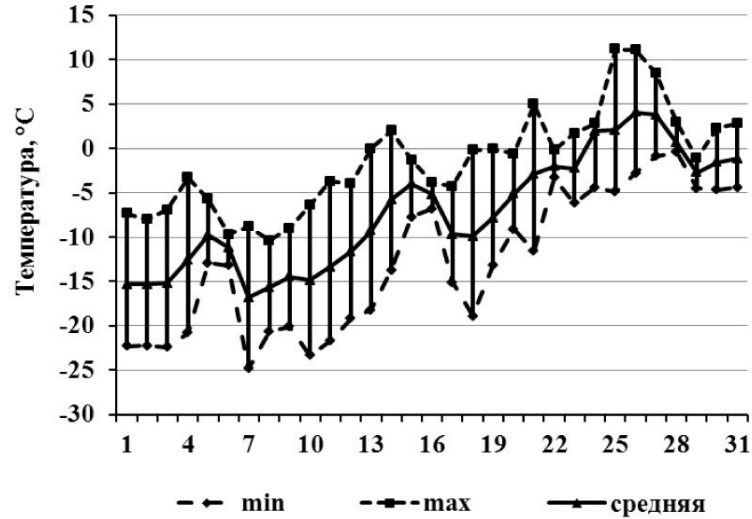


Рисунок 1. Температура воздуха в марте 2012 года (с 1 по 31 марта) min и max - минимальные и максимальные температуры воздуха в течение суток, средняя - среднесуточная температура воздуха

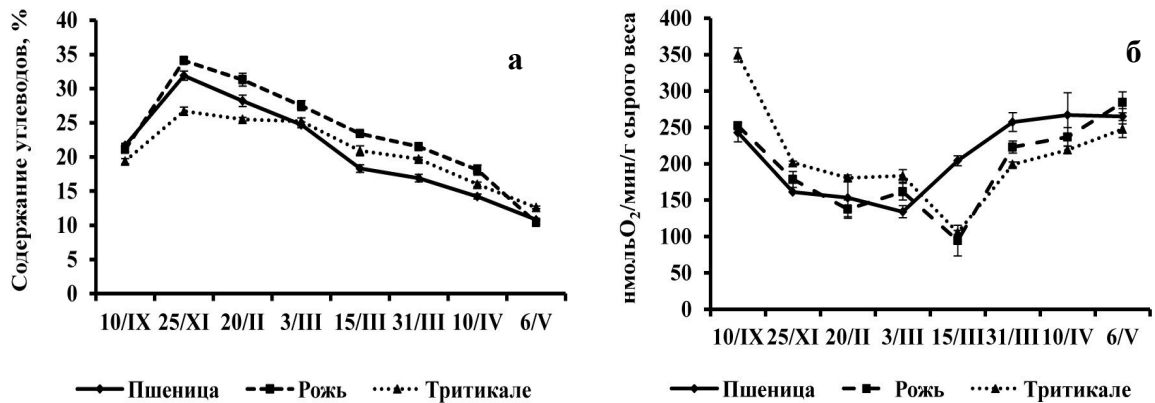


Рисунок 2. Изменения в содержании водорастворимых углеводов и интенсивности дыхания у озимых злаков в осенне-весенний период. $m \pm S.D.$

а - содержание водорастворимых углеводов в узлах кущения озимой пшеницы, ржи и тритикале, % к абсолютно сухому веществу, $n=12$;

б - интенсивность дыхания узлов кущения озимой пшеницы, ржи и тритикале, $n=4$.

ОБСУЖДЕНИЕ

Ингибиторный анализ качественной характеристики дыхания (вклада альтернативного и цитохромного путей транспорта электронов) показал, что вклад альтернативного пути (АП), связанного с функционированием альтернативной оксидазы

в митохондриях, в дыхание узлов кущения изученных озимых злаков в период наблюдений не превышал 15.0 – 17.0%, при этом в осенний период у всех культур вклад АП в дыхание был сходным (около 11.0 – 15.0%).

Во второй декаде марта вклад АП в дыхание узлов кущения озимой пшеницы

увеличивался до 15.0 – 17.0%, у озимой тритикале снижался до 9.0 – 10.0%, а у озимой ржи в этот период цианид-резистентное дыхание почти не обнаруживалось (0 – 5.0%). Эти данные отражают тот факт, что увеличение скорости дыхания узлов кущения у озимой пшеницы во второй декаде марта сопровождается возрастанием вклада АП в дыхание.

Обнаруженные нами различия в пробах, отобранных 15 марта, вероятно, обусловлены повышением температуры в дневное время до положительных значений. Изменение температуры окружающей среды приводило к различиям в ответной реакции озимых культур. По данным полевых исследований морозостойкость у пшеницы составила 70.8%, в то время как у ржи и тритикале - 95.8% и 91.6%, соответственно. Наибольший процент гибели озимой пшеницы можно связать с большей активацией дыхания и расходом углеводов весной, в период, когда температура воздуха днем достигает положительных значений, а в ночное время может опускаться до очень низких отрицательных температур.

Таким образом, более высокий уровень устойчивости растений озимой ржи и тритикале к низким температурам, по сравнению с озимой пшеницей, вероятно, связан с различиями в температурных оптимумах процесса дыхания и большей стабильностью ферментов, ответственных за дыхание, у более морозостойких культур озимой ржи и тритикале в весенний период.

БЛАГОДАРНОСТИ

Исследование выполнено при поддержке

Министерства образования и науки Российской Федерации, соглашение 8266.

ЛИТЕРАТУРА

- Александров, В.Я. (1954). Упрощенный способ инфильтрации растительных тканей. *Ботанический журнал*, **39**: 421-422.
- Дорофеев, Н.В., Пешкова, А.А., Войников, В.К. (2004). Озимая пшеница в Иркутской области. Иркутск: Арт-Пресс, 175 с.
- Головко, Т.К. (1999). Дыхание растений (физиологические аспекты). СПб.: Наука, 204.
- Колупаев, Ю.Е., Карпец, Ю.В. (2010). Формирование адаптивных реакций на действие абиотических стрессоров. Киев: Основа, 352.
- Колупаев, Ю.Е., Трунова, Т.И. (1992). Особенности метаболизма углеводов растений в условиях стрессов. *Физ. и биох. культ. раст.*, **24**: 523-533.
- Кравец, В.С., Великожон Л.Г. (1984). Дыхание поддержания у озимой пшеницы в осенне-зимний период. *Физ. и биох. культ. раст.*, **16**: 529-533
- Трунова, Т.И. (2007). Растение и низкотемпературный стресс. М.: Наука, 54.
- Трушанов, А.А. (1954). В кн.: Руководство по изучению биологического окисления полярнографическим методом. М.: Наука, 73-79.
- Mizuno, N., Sugie, A., Kobayshi, F., Takumi, S. (2008). Mitochondrial alternative pathway is associated with development of freezing tolerance. *J. Plant Physiol.*, **165**: 462-467.
- Rose, M., Prado, C., Podazza, C., Interdonato, R., Gonzalez, J.A., Hilal, M., Prado, F.E. (2009). Soluble sugars – Metabolism, sensing and

- abiotic stress. *Plant Signal. Behav.*, **4**: 388-393.
- Zeng, Y., Yu, J., Cang, J., Liu, L., Mu, Y., Wang, J., Zhang, D. (2011). Detection of sugar accumulation and expression levels of correlative key enzymes in winter wheat (*Triticum aestivum*) at low temperatures. *Biosci. Biotechnol. Biochem.*, **75**: 681-687.