

УДК 633.367:581.14:63:576.8

**ФОТОФИЗИЧЕСКИЕ РЕАКЦИИ ЛИСТЬЕВ ЛЮПИНА УЗКОЛИСТНОГО ПРИ  
ФОРМИРОВАНИИ РАСТИТЕЛЬНО-МИКРОБНЫХ СИМБИОЗОВ**  
PHOTOPHYSICAL REACTIONS OF LEAVES OF LUPINES ANGUSTIFOLLIUS DURING  
FORMATION OF SYMBIOSIS OF PLANTS AND MICROORGANISMS

**Н.В. Парахин, академик РАСХН**

N.V. Parakhin, academician of the Russian agricultural academy

**С.Н. Петрова, кандидат сельскохозяйственных наук**

S.N. Petrova, Dr. Sci. Agric

**ФГБОУ ВПО «Орловский государственный аграрный университет»**

Orel State Agrarian University

*Изучено влияние микробиологических препаратов на изменение функциональной активности симбиотической и фотосинтетической деятельности люпина узколистного сорта Кристалл и Орловский сидерат. Дана оценка квантовой эффективности и нефотохимического тушения фотосистемы II (ФС II) листьев с помощью метода регистрации индукции флуоресценции хлорофилла. Для изученных сортов выявлены микробиологические препараты, повышающие эффективность функционирования фотосистемы II.*

**Ключевые слова:** люпин узколистный, растительно-микробные системы, фотосистема II, квантовая эффективность, нефотохимическое тушение, микробные препараты, сорт.

Основой первичной биопродуктивности природных экосистем и формирования урожая сельскохозяйственных растений является уникальный биологический процесс – фотосинтез. Фундамент последнего, согласно современным представлениям, составляют первичные реакции, связанные с трансформацией энергии электронного возбуждения в фотосинтетических мембранах. Специфика этих физических и фотохимических по своей природе реакций в значительной степени определяется структурой и физико-химическими свойствами пигментов.

Поскольку от генотипа растения зависит форма, число, структура хлоропластов и содержание в них пигментов и ферментов, то соответственно, у различных сортов растений

*Influence of microbiological preparations on change of functional activity of symbiotic and photosynthetic activity of a lupines angustifollius the breed Crystal and Oryol siderat is studied. The assessment of quantum efficiency and non-photochemical suppression of photosystem II of leaves by means of a method of induction of ground chlorophyll fluorescence is given. For the studied grades the microbiological preparations increasing efficiency of functioning of photosystem II are revealed.*

**Key words:** lupinus angustifollius, symbiosis of plants and microorganisms, photosystem II, yield, qN, biofertilisers, breed.

фотохимические характеристики хлоропластов отличаются. При этом морфологическое строение и физиологическое состояние фотосинтетического аппарата определяется не только генетическими особенностями растения, но и обеспеченностью продукционного процесса основными ресурсами (углекислотой, азотом, водой и др.).

В связи с этим, большой научный интерес представляет оценка эффективности первичных стадий фотосинтеза у различных генотипов люпина узколистного, способного к симбиотрофному питанию азотом при взаимодействии с тремя группами полезной ризосферной микрофлоры, позволяющая получать информацию о функциональном состоянии фотосинтетического аппарата.

### Материалы и методы исследований

Эксперименты проводили в 2007-2010 гг. в Орловском государственном аграрном университете совместно с Всероссийским НИИ зернобобовых и крупяных культур, на опытном поле лаборатории селекции зернобобовых культур, в рамках совместной научно-исследовательской программы. Работа была поддержана Российским фондом фундаментальных исследований (грант РФФИ офи\_ц 08-04-13565) и выполнена на оборудовании Центра коллективного пользования ОрёлГАУ «Генетические ресурсы растений и их использование».

Сорта люпина узколистного Кристалл и Орловский сидерат выращивали в полевом селекционном севообороте. Площадь делянки – 10 м<sup>2</sup>, размещение делянок рендомизированное, повторность четырехкратная.

Почва опытного участка темно-серая лесная среднесуглинистая, с содержанием гумуса 5,1 %, подвижного фосфора – 23,3, обменного калия – 9,7 мг/100 г почвы, рНсол 5,3. Предшественник – ячмень яровой.

В опытах оценивали эффективность фотофизических процессов в листьях сортов люпина узколистного при использовании микробиологических препаратов, разработанных и предоставленных ГНУ ВНИИСХМ (г. Санкт-Петербург): ризоторфин на основе *Bradyrhizobium sp.*, *um. 367*, *Bradyrhizobium sp.*, *um. 374* и *Bradyrhizobium sp.*, *um. 388*; АМГ – препарат на основе гриба арбускулярной микоризы (*Glomus intraradices*, шт.7); PGPR – препарат ассоциативных бактерий БисолбиСан (*Artrobacter mycorens 7*, *Flavobacterium sp. L. – 30*, *Agrobacterium radiobacter 204*, *Agrobacterium radiobacter 10*, *Bacillus subtilis Ч-13*, *Pseudomonas fluorescens 2137*, *Azospirillum lipoferum 137*)

Штаммами клубеньковых бактерий проводили предпосевную инокуляцию семян из расчета 200 г на гектарную норму семян. PGPR опрыскивали всходы растений (10% р-р). Препарат АМГ вносили в почву перед посевом из расчета 5 ц/га. На каждом сорте в качестве контроля был заложен вариант без инокуляции (спонтанное заражение).

Метеорологические условия вегетационных периодов 2007-2010 гг. были контрастными. Наиболее благоприятным для роста и развития растений был 2008 год. Засушливые условия отмечены в 2007 и 2010 годах.

Нитрогеназную активность определяли с помощью газового хроматографа «Цвет-4» методом оценки ацетиленредуктазной активности [1] в модификации В.П. Орлова [2] и А.С. Шаина [3].

Регистрацию фотофизических параметров листьев люпина у интактных растений проводили по Bilger &Schreiber [4] с использованием портативного прибора MINI-PAM (Германия, Walz). Математическая обработка данных осуществлялась с помощью приложения CXSTAT к компьютерной программе Excel.

### Результаты и их обсуждение

Сравнительные исследования различных по направлению хозяйственного использования сортов люпина показали, что они проявляют ряд особенностей функционирования фотосинтетического аппарата на уровне первичных процессов преобразования энергии. Показано, что наиболее продуктивный сорт люпина узколистного – *Кристалл* (зернового направления использования), отличался более высокой эффективностью функционирования ФС II (рис.1). На это указывает коэффициент нефотохимического тушения флуоресценции хлорофилла (НФТ), который в листьях сорта *Кристалл* был в 1,4 раза ниже, чем у сорта *Орловский сидерат*, что свидетельствует о меньшей потере энергии возбуждения при ее переносе к реакционным центрам [5, 6]. Подтверждением тому является более высокий, по сравнению с сортом *Орловский сидерат*, коэффициент квантового выхода (Yield), характеризующий эффективность работы ФС II листьев.

Отметим, что взаимодействие растений с полезной почвенной микрофлорой, посредством интродукции производственных штаммов PGPR, р. *Rhizobium* и р. *Glomus* в виде микробных препаратов, способствовала улучшению функциональной активности фотосинтетического аппарата люпина узколистного и было сопряжено

с активизацией азотфиксирующей деятельности растений (рис.2).

Выявлено, что в группе клубеньковых бактерий наиболее комплементарным для сорта *Орловский сидерат* (сидерального направления использования) был штамм *Bradyrhizobium sp.367a*, тогда как эффективность растительно-микробных взаимодействий в агроценозах сорта *Кристалл* существенно возросла при

моноинокуляции штаммом *Bradyrhizobium sp. 388a*.

Оба сорта положительно реагировали на интродукцию в ризосферу *PGPR* и грибов АМ. Ассимиляция азота воздуха в посевах сорта *Кристалл* увеличивалась по сравнению с контролем, в 1,9 и 1,4 раза соответственно, а в агроценозах сорта *Орловский сидерат* – в 1,7 раза.

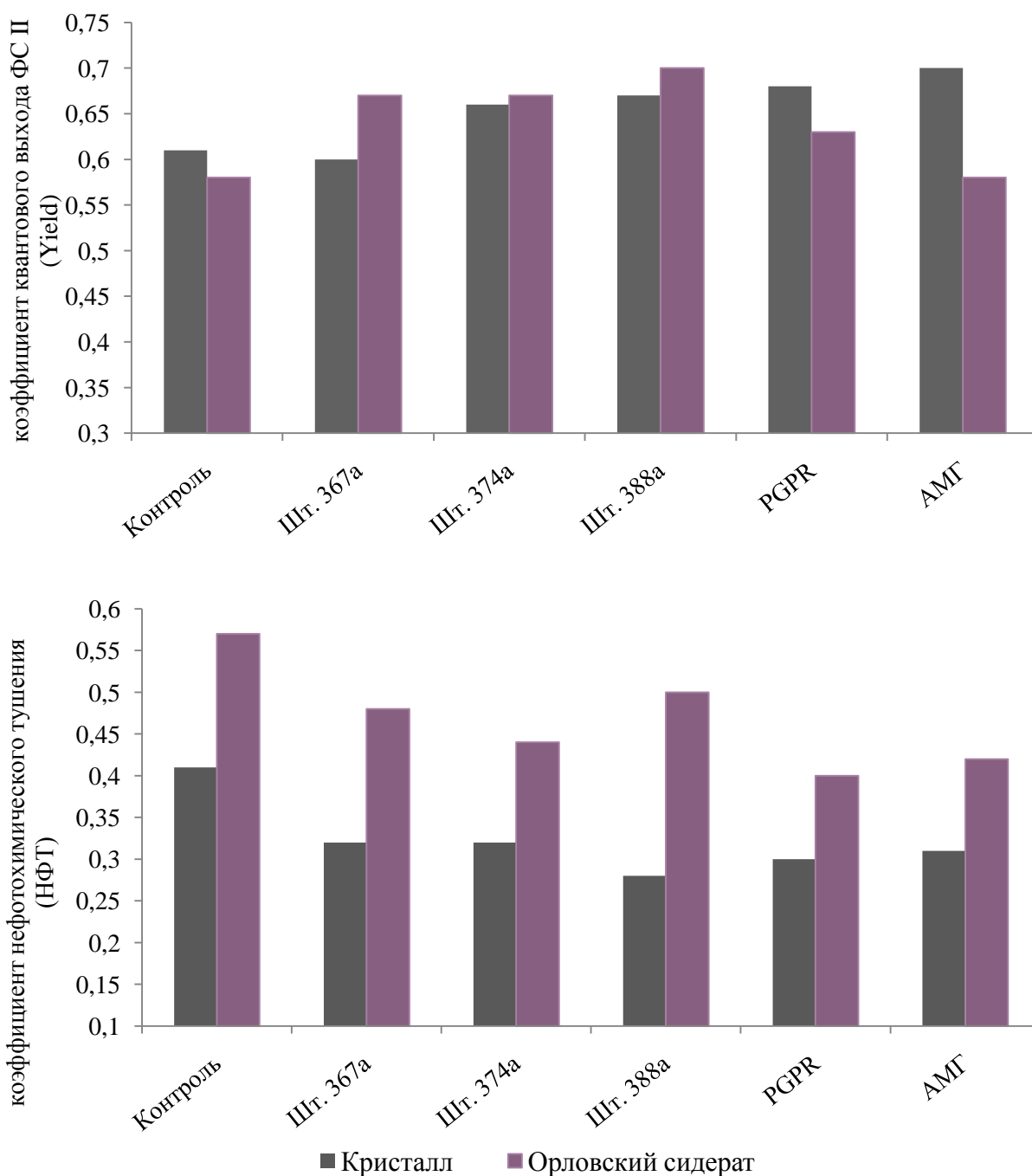


Рисунок 1. Функциональная активность ФС II листьев сортов люпина узколистного в зависимости от использования микробных препаратов, (среднее 2008-2010 гг.).

Усиление симбиотической деятельности в посевах люпина узколистного, соответствующим образом, отражалось на изменении эффективности первичных реакций фотосинтеза в листьях

растений, поскольку в основе симбиоза лежит глубокая модификация процессов С- и N-метаболизма партнеров [7, 8, 9].

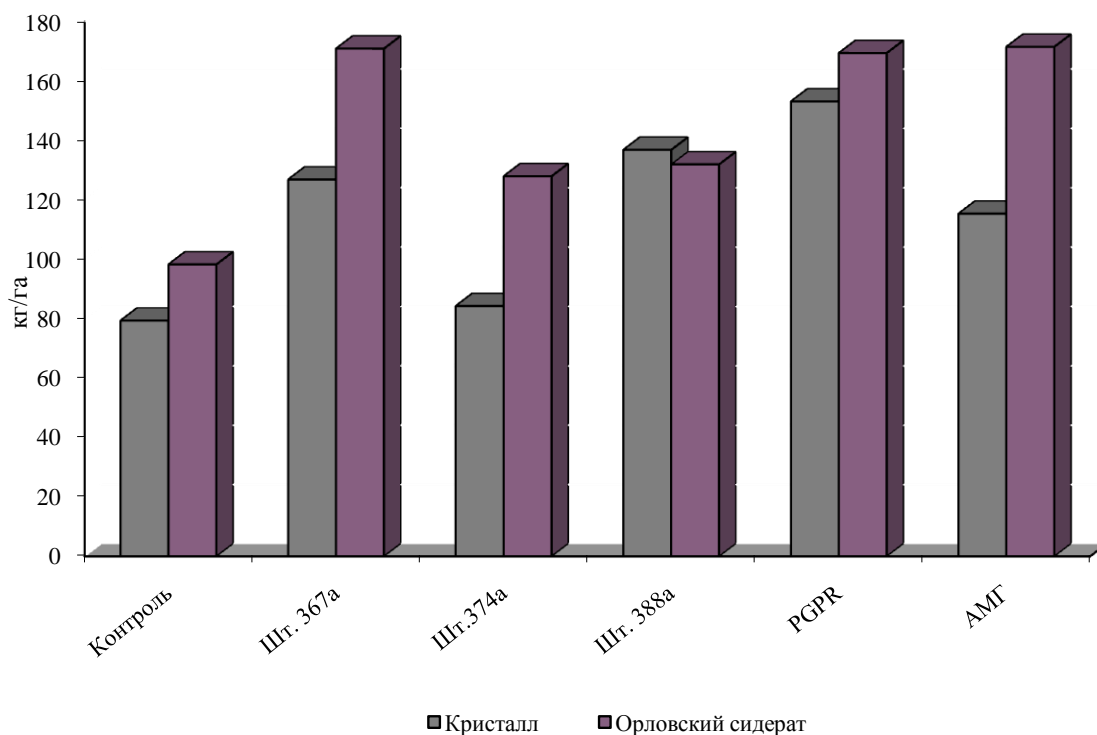


Рисунок 2. Фиксация азота воздуха агроценозами люпина узколистного при использовании микробных препаратов, кг/га (среднее 2007-2010 гг.).

Очевидно, что формирование активного симбиотического аппарата усиливает запрос на ассимилянты со стороны корневой системы, стимулируя тем самым фотосинтетическую активность листьев [10, 11]. Биохимической основой такого запроса является интенсивная разгрузка окончаний ситовидных элементов в клубеньках, что создает крутой концентрационный профиль транспортных форм углерода (в первую очередь, сахарозы) в проводящей системе и ускоряет их отток из листьев, тем самым улучшая фотосинтетическую ассимиляцию углерода [7].

В наших исследованиях подтверждено мнение о том, что нефотохимическое тушение (qN, НФТ) является важным механизмом, регулирующим избыточную диссипацию энергии, контролируя квантовую эффективность ФС II. Так, максимальный коэффициент квантовой эффективности ФС II листьев люпина был

отмечен в вариантах, формирующих наиболее активный симбиотический аппарат. Инокуляция штаммом 388, а также интродукция в ризосферу сорта *Кристалл* фосфатмобилизующих микроорганизмов и ризобактерий повышала квантовый выход на 10, 11 и 15% соответственно при снижении коэффициента НФТ в 1,3-1,5 раза. Существенное улучшение функциональной активности листьев сорта *Орловский сидерат* происходило в вариантах с *Bradyrhizobium sp.*, шт. 367, PGPR и AMG, где количество квантов света не участвующих в фотохимических реакциях снижалось по сравнению с контролем на 19, 30 и 26% соответственно. Исследования зарубежных коллег [12] также подтверждают положительное влияние AMG на активность фотосистемы II.

Таким образом, за счет улучшения питания растений люпина симбиотрофным азотом произошло повышение эффективности первичных реакций фотосинтеза, что свидетельствует о

необходимости применения микробных препаратов для улучшения функционального состояния фотосинтетического аппарата, от которого напрямую зависит продуктивность растений.

### Литература

1. Чундерова А.И., Алисова С.М. Физиология растений., Т. 26. №3. – 1979. – С.593 – 598.
2. Орлов, В.П. Методика оценки активности симбиотической азотфиксации селекционного материала зернобобовых культур ацетиленовым методом / В.П. Орлов и др. - Орел: ВНИИ ЗБК, 1984. – 16 с.
3. Шаин А.С. Оценка и создание нового исходного материала клевера лугового с повышенной белковой продуктивностью и азотфиксирующей способностью: Автореф. дис. канд. с.-х. наук. – М., 1990.
4. Bilger W, Schreiber U, Bock M. Determination of the quantum efficiency of photosystem II and of nonphotochemical quenching of chlorophyll fluorescence in the field. *Oecologia* 1995;102:425–32.
5. Yamane Y., Kashino Y., Koike H., Satoh K. Increases in the Fluorescence F0 Level and Reversible Inhibition of Photosystem II Reaction Center by High-Temperature Treatments in Higher Plants // *Photosynth. Res.* 1997. V. 52. P. 57-64.
6. Yordanov I., Tsonev T., Goltsev V., Kruleva L., Velikova V. Interactive Effect of Water Deficit and High Temperature on Photosynthesis of Sunflower and Maize Plants. 1. Changes in Parameters of Chlorophyll Fluorescence Induction Kinetics and Fluorescence Quenching // *Photosynthetica*. 1997. V. 33. P. 391-402.
7. Киризий, Д.А. Фотосинтез и рост растений в аспекте донорно-акцепторных отношений / Д.А. Киризий. – Киев: Логос, 2004. – 192с.
8. Кретович, В.Л. Биохимия усвоения азота воздуха растениями / В.Л. Кретович – М.: Наука, 1994. – 168с.
9. Сытников, Д.М. Интенсивность фото-синтеза и лектиновая активность листьев сои при инокуляции ризобиями совместно с гомологичным лектином / Д.М. Сытников, С.Я. Коць, С.М. Маличенко, Д.А. Киризий // *Физиология растений*. – 2006. – Т. 53. – №2. – С. 189-195.
10. Парахин, Н.В. Биологическая и хозяйственная эффективность применения эндомикоризы в сортовых посевах *Pisum sativum* L. в условиях Орловской области / Н.В. Парахин, Ю.В. Кузмичева, С.Н. Петрова // *Сельскохозяйственная биология*. – 2010. - №1. – С. 75-80.
11. Тихонович, И.А. Симбиозы растений и микроорганизмов: молекулярная генетика агросистем будущего / И.А. Тихонович, Н.А. Проворов. СПб.: Изд-во С.-Петерб. Ун-та, 2009. 210 с.
12. Tsimilli-Michael M., Strasser R.J. Mycorrhization as a stress adaptation procedure // *Mycorrhizal Technology in Agriculture. Form Genes to Bioproducts* / Eds. S. Gianinazzi et al. Basel: Birkhauser Verlag, 2002. P. 199-210.