

## Физические методы и отбор по спорофиту в селекции

УДК 633.15:631.52:581.132:58.084:535.24

### **СЕЛЕКЦИОННЫЕ И ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ У ИНБРЕДНЫХ ЛИНИЙ И ВЫСОКОПРОДУКТИВНЫХ ГИБРИДОВ КУКУРУЗЫ С ЭФФЕКТИВНЫМИ ФОТОСИНТЕТИЧЕСКИМИ ФУНКЦИЯМИ\***

**Ч. РАДЕНОВИЧ<sup>1, 2</sup>, М. ФИЛИПОВИЧ<sup>1</sup>, М. БАБИЧ<sup>1</sup>, В. АНДЖЕЛКОВИЧ<sup>1</sup>, Г. СТАНКОВИЧ<sup>1</sup>, М. СЕЧАНСКИ<sup>1</sup>, Ж. ЙОВАНОВИЧ<sup>1</sup>**

В полевых опытах на четырех инбредных линиях кукурузы с вертикально стоящими верхними листьями ZPPL 16, ZPPL 218, ZPPL 62 и ZPPL 233 измеряли величину угла между 1-м надпочаточным листом и стеблем растения, площадь 1-го надпочаточного листа, исследовали динамику потери воды из зерна в период созревания, а также оценивали три флуоресцентных параметра фотосинтеза: температурную зависимость интенсивности замедленной флуоресценции хлорофилла, частоту возникновения критических температур и энергию активации. На четырех распространенных и высокоурожайных гибридах ZP 341, ZP 434, ZP 578, ZP 684, созданных на основе указанных линий, изучали зависимость урожайности от густоты стояния растений и орошения, а также зависимость товарного качества зерна от его структуры, физических и химических свойств. Подтверждается гипотеза о существовании инбредных линий кукурузы с признаками, определяющими тип фотосинтетического аппарата (или фотосинтетическую модель), что успешно используется в современных программах селекции и при получении гибридных семян кукурузы. Свойства инбредных линий зависят от структурных и функциональных изменений, происходящих в их тилакоидных мембранах и других структурах тканей листа, а также в зерне.

**Ключевые слова:** линия, гибрид, лист, зерно, тилакоидная мембрана, фотосинтетическая модель, замедленная флуоресценция хлорофилла.

**Keywords:** maize inbred lines, leaf, grain, thylakoid membrane, photosynthetic model, delayed chlorophyll fluorescence.

С 1950-х годов до настоящего времени в селекции кукурузы и получении качественных семян, в том числе гибридных, достигнуты огромные успехи (1-5). В последние 60 лет выведено свыше 1300 гибридов кукурузы для использования на зерно и силос. Созданы современные технико-технологические условия для селекции и семеноводства этой культуры (1-6). Благодаря реализации программы, названной «густота посевов», значительно увеличилось число растений на единице площади, что привело к повышению урожая гибридных семян и товарной кукурузы (4, 5, 7-10). Почти одновременно с этим была принята программа по созданию инбредных линий кукурузы с вертикально стоящими верхними листьями (6, 8, 9-11). Масштабная реализация указанных взаимодополняющих программ позволила достигнуть весьма значимых результатов как в селекции, так и в производстве гибридных семян кукурузы (1-6). Многочисленные полученные гибриды разного целевого назначения выращиваются на огромных площадях как высокоурожайные и обладающие высоким качеством зеленой массы и зерна. Согласно нашей гипотезе, инбредные линии с вертикально стоящими листьями более всего соответствуют оптимальной модели растения кукурузы (6, 10-12).

В предыдущих исследованиях не удалось установить, связана ли урожайность гибридных семян у форм кукурузы, полученных методами се-

\* Программа селекции кукурузы и производства качественных гибридных семян реализуется в течение 25 лет. Финансовую поддержку программы осуществляет Институт кукурузы «Земун Поле» (г. Белград, Сербия), а также частично Министерство науки и технологического развития Сербии (проекты 03E211, 03E22, 142025, TR-20003, TR-20007, TR-20014).

лекции, с модификацией фотосинтетических процессов. Такое положение, вероятно, было следствием того, что изменения в структуре хлоропластов и тилакоидных мембран, а также в кинетике происходящих в этих структурах процессов, влияющие на их функциональную активность, происходят под воздействием различных факторов внешней среды и между ними существуют множественные корреляционные связи (7-8, 13-15).

В настоящее время ведутся интенсивные исследования биолюминесцентных и флуоресцентных явлений в растительных системах (4-7, 13-16). Установлена прямая зависимость между показателями замедленной флуоресценции (ЗФ) хлорофилла и интенсивностью фотосинтетических процессов в тилакоидных мембранах интактных листьев у кукурузы (6-14). Группа исследователей из Maize Research Institute «Zemun Polje» (Институт кукурузы «Земун Поле», г. Белград, Сербия) разработала неразрушающий флуоресцентный метод, применение которого позволяет функционально связать флуоресценцию тканей растения с интенсивностью процессов фотосинтеза, используя указанную биофизическую характеристику в качестве селекционного признака при отборе перспективных форм (8-14, 16). Улучшенный вариант такого метода измерения ЗФ хлорофилла подробно описан в наших работах (4-6, 8-12, 14).

Исследования в области биофизической химии также способствовали развитию подходов, позволяющих применить методы флуоресцентной спектроскопии при оценке кинетики биохимических процессов и динамики потери воды из зерна в период его созревания для характеристики процессов фотосинтеза и транспорта как в тилакоидной мембране, так и в различных структурах зерновки (10, 17, 18).

Наши предыдущие работы были посвящены изучению верхних листьев у гибридных линий кукурузы (6, 8, 10). Выдвинута гипотеза, что 1-й надпочаточный лист и все верхние листья вплоть до метелки осуществляют эффективный фотосинтез (10).

В настоящей работе мы попытались выяснить, существуют ли выявляемые с помощью физико-химических методов признаки, с которыми можно достоверно связать хозяйственно ценные качества инбредных линий и гибридов кукурузы, что может иметь важное значение для повышения эффективности селекционного процесса и при семеноводстве.

*Методика.* Испытывали четыре инбредные линии кукурузы с вертикально стоящими верхними листьями — ZPPL 16, ZPPL 218, ZPPL 62 и ZPPL 233, а также высокопродуктивные гибриды ZP 341, ZP 434, ZP 578 и ZP 684. Линии и гибриды получены в Институте кукурузы «Земун Поле» (г. Белград, Сербия); растения выращивали на опытном поле этого института. Все методы подробно описаны нами в предыдущих работах (8-12).

В первой серии экспериментов у инбредных линий величину угла между 1-м надпочаточным листом и стеблем растения определяли с помощью специально сконструированного угломера, площадь листовой поверхности — с использованием аппарата Portable area meter, модель LI-3000 («LI-COR Biosciences», США). Измерения (1998-2004 годы) проводили на 218 растениях для каждой инбредной линии в течение 3 лет.

Во второй серии опытов, применяя флуоресцентный метод, изучали структурные и функциональные изменения в тилакоидной мембране интактного надпочаточного листа у инбредных линий кукурузы в связи с фотосинтезом. Исследовали процессы ЗФ хлорофилла, измеряли критические температуры фазовых переходов, оценивали энергию активации. Для этого утром (с 7<sup>00</sup> до 8<sup>00</sup> часов) растения косо подрезали на уровне 1-го междоузлия, переносили в лабораторию и погружали в воду до 2-го междоузлия.

За 2 ч до измерения флуоресценции все растения помещали под черный стеклянный колокол. После этого высечку из интактного листа над початком переносили в камеру флуороскопа, где она находилась в темноте в течение 15 мин, затем измеряли величину ЗФ хлорофилла. Испытания (1998-2004 годы) проводили на 268 растениях для каждой инбредной линии кукурузы.

В третьей серии экспериментов у инбредных линий исследовали содержание воды в зернах и динамику ее потери в период созревания. Использовали термический метод сушки до постоянной массы при температуре 105 °С. Для измерений брали объединенный образец зерна с 5 початков. При этом выбирали растения, находящиеся в состоянии физиологической спелости, у которых в основании зерна появился черный слой. Содержание воды в зерне измеряли каждые 7 сут в течение 35 сут. Опыты проводили с 2000 по 2005 год из-за большой нестабильности этого свойства у инбредных линий кукурузы (10, 17).

Кроме того, в 2003-2008 годах оценивали урожайность у самых распространенных и высокопродуктивных гибридов ZP 341, ZP 434, ZP 578 и ZP 684, которые обладают свойствами, соответствующими эффективной модели фотосинтеза (в том числе имеют вертикально стоящие верхние листья), а также быстро теряют воду из зерна в период его созревания и удовлетворительно толерантны к повышенным и высоким температурам и засухе. Опыты проводили без орошения и с орошением при разной густоте стояния растений: G1 = 40816 (70×35 см), G2 = 50125 (70,0×28,5 см), G3 = 59523 (70×24 см), G4 = 69686 (70,0×20,5 см), G5 = 79365 (70×18 см), G6 = 89286 (70×16 см), G7 = 98522 (70,0×14,5 см) (18), где G — число растений на 1 га. Также определяли общепринятые показатели товарного качества зерна.

Статистическую оценку проводили с применением программных средств обработки данных.

*Результаты.* Очевидно, что дальнейший прогресс в создании форм и гибридов кукурузы связан с применением высокоэффективных методов массовой оценки основных селекционно значимых признаков и обуславливающих их физиологических и биохимических процессов. Мы попытались доказать, что инбредные линии и гибриды кукурузы с вертикально стоящими верхними листьями могут быть моделью эффективного фотосинтеза, а также функционально связать фотосинтез и флуоресценцию с другими селекционно значимыми признаками.

**1. Величина угла между 1-м надпочаточным листом и стеблем и площадь поверхности 1-го надпочаточного листа у линий кукурузы с вертикально стоящими верхними листьями из разных групп спелости (среднее за 3 года, опытное поле Института кукурузы «Zemun Polje», г. Белград, Сербия)**

Линия	Группа спелости (по ФАО)	Гетерозисное происхождение линии	Угол между 1-м надпочаточным листом и стеблем, °		Площадь листовой поверхности 1-го надпочаточного листа, ×10 <sup>3</sup> см <sup>2</sup>	
			$\bar{x}$	$\sigma$	$\bar{x}$	$\Sigma$
ZPPL 16	700	Земун Поле BSSS	18,3	1,12	3,63	328
ZPPL 218	650	Земун Поле Lankaster	22,1	1,36	3,91	412
ZPPL 62	350	Земун Поле BSSS	20,3	1,21	3,33	318
ZPPL 233	500	Земун Поле Lankaster	24,5	1,34	5,66	613

Инбредная линия кукурузы ZPPL 16 (рис. 1) получена из популяции BSSS и относится к группе спелости с ФАО 700. Зерно зубовидное, стержень розового цвета. Линия включена в создание свыше 20 гибридов кукурузы, в том числе ZP 578, ZP 677 и ZP 684. Линия ZPPL 218 при-

надлежит к гетерозисной группе Lancaster и группе с ФАО 650. Зерно зубовидное, стержень красного цвета. Линия включена в создание более 10 гибридов кукурузы — ZP 684, ZP 606 и др. Инбредная линия ZPPL 62 получена из популяции BSSS, относится к группе спелости с ФАО 350. Зерно зубовидное, стержень красного цвета. На ее основе создано более 20 гибридов, среди которых ZP 260, ZP 341, ZP 360, ZP 434 и др. Линия ZPPL 233 относится к гетерозисной группе Lancaster и группе спелости с ФАО 500. Зерно полузубовидное/полукремнистое, стержень красного цвета. Использовалась при создании более 10 гибридов кукурузы, из которых самый распространенный ZP 578.



Рис. 1. Растения инбредных линий кукурузы с вертикально стоящими верхними листьями — ZPPL 16 (А), ZPPL 218 (Б), ZPPL 62 (В) и ZPPL 233 (Г).

Оказалось, что изученные линии обладают качествами, соответствующими модели эффективного фотосинтеза, значительной толерантностью, пластичностью и адаптивностью биохимических и физиологических процессов к повышенным и высоким температурам и к засухе, характеризуются быстрой потерей воды из зерна в период его созревания. Они легко размножаются и имеют высокую урожайность, обладают хорошей комбинационной способностью как родительские пары (при их скрещивании проявляется значительный эффект гетерозиса по урожаю зерна). Иными словами, эти линии имеют важное значение для селекции и семеноводства.

Так, результаты измерений величины угла между 1-м надпочаточным листом и стеблем подтвердили, что изученные линии кукурузы относятся

к группе с вертикально стоящими верхними листьями (табл. 1).

Кривые, которые у изученных инбредных линий кукурузы характеризуют зависимость процессов ЗФ хлорофилла от температуры, оцененную с помощью эмпирического подхода (8-10), представлены на рисунке 2.

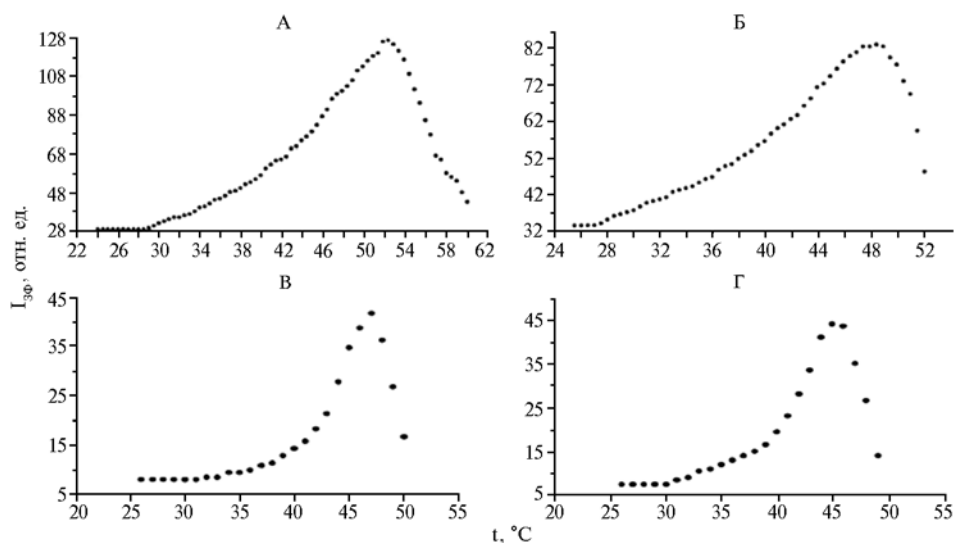


Рис. 2. Интенсивность замедленной флуоресценции хлорофилла ( $I_{390}$ ) в тилакоидной мембране интактного 1-го надпочаточного листа у инбредных линий кукурузы с вертикально стоящими верхними листьями ZPPL 16 (А), ZPPL 218 (Б), ZPPL 62 (В) и ZPPL 233 (Г) в зависимости от температуры.

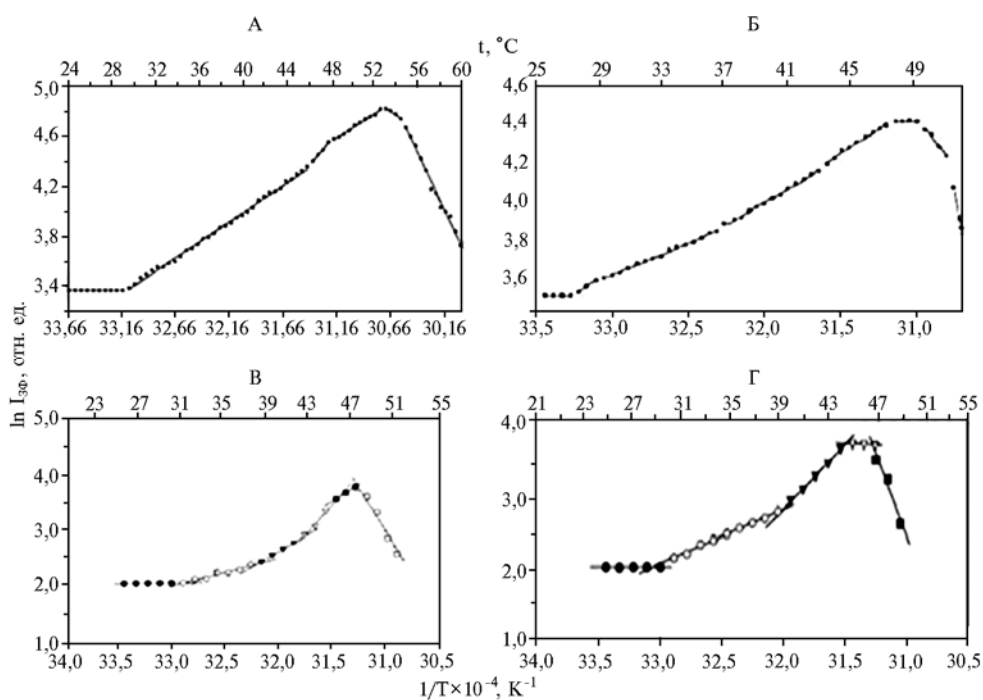


Рис. 3. Изменение натурального логарифма ( $\ln$ ) интенсивности замедленной флуоресценции хлорофилла ( $I_{390}$ ), характеризующее критические температуры структурных переходов ( $T$  по Кельвину, К) в тилакоидной мембране интактного 1-го надпочаточного листа у инбредных линий кукурузы с вертикально стоящими верхними листьями ZPPL 16 (А), ZPPL 218 (Б), ZPPL 62 (В) и ZPPL 233 (Г) (критерий Аррениуса).

Критерий Аррениуса основан на методе линеаризации температур-

ной зависимости ЗФ хлорофилла. С его помощью были установлены критические температуры фазовых переходов, при которых происходят структурные изменения в тилакоидной мембране (рис. 3). Величины критических температур, частота их появления и удаленность друг от друга на кривых характеризуют изученные инбредные линии кукурузы в отношении толерантности, устойчивости, пластичности и адаптивности к повышенным и высоким температурам, а также к засухе.

С ростом температуры происходят структурные изменения молекул хлорофилла в тилакоидной мембране, в результате чего они становятся реактивными и приобретают дополнительную энергию, которая используется при возникновении ЗФ хлорофилла (5-7, 10, 12-14). Результаты оценки энергии активации для критических температур в тилакоидной мембране у линий кукурузы с вертикально стоящими верхними листьями представлены в таблице 2.

**2. Энергия активации (Эа, кДж/моль) хлорофилла в тилакоидной мембране интактного 1-го надпочаточного листа у инбредных линий кукурузы с вертикально стоящими верхними листьями для разных критических температур (t, °C)**

ZPPL 16		ZPPL 218		ZPPL 62		ZPPL 233	
Эа	t	Эа	t	Эа	t	Эа	t
—	29,5	—	27,0	—	28,0	—	25
48,4	45,9	43,1	29,0	45,0	36,0	32,0	30
84,3	48,0	27,3	36,9	91,8	41,0	100,3	38
46,7	53,0	37,0	43,5	119,7	46,9	176,7	42
49,2	54,8	42,5	47,8	132,0	49,0	259,9	47
—	60,0	51,1	49,9	—	—	—	50

Примечание. Прочерки означают, что по определению начальные и конечные значения ЗФ (замедленная флуоресценция) хлорофилла не позволяют вычислять энергию активации Эа.

Потеря воды из зерна в период его созревания и состояние процессов транспорта воды — ценные свойства, которые имеют важное научное и экономическое значение как при изучении и создании линий кукурузы с вертикально стоящими верхними листьями, так и при организации производства гибридных семян (10, 17). Скорость потери воды из зерна обусловлена многими причинами: осмотическим давлением в зерне (его в значительной мере определяет внешнее атмосферное давление, учащенность и интенсивность воздушных струй, относительная влажность воздуха, структура химических соединений и природа химических связей воды с ними); структурой и толщиной перикарпия и его проницаемостью для воды; содержанием и структурой крахмальных зерен и белковых телец, их способностью связывать воду; морфологическими свойствами початка; другими физико-химическими параметрами структур зерновки, которые взаимодействуют с водой. Результаты наших исследований по содержанию воды в зерне у инбредных линий кукурузы приведены в таблице 3.

**3. Содержание воды в зерне и ее потеря в период созревания у инбредных линий кукурузы с вертикально стоящими верхними листьями ( $\bar{X} \pm x$ , 5-летние наблюдения, опытное поле Института кукурузы «Zemun Polje», г. Белград, Сербия)**

Линия	Содержание воды, %						Суточная потеря воды, %
	исходный показатель	7 сут	14 сут	21 сут	28 сут	35 сут	
ZPPL 16	31,40±3,22	28,11±3,11	24,82±3,22	21,53±2,98	18,24±2,81	14,95±2,41	0,47±0,06
ZPPL 218	29,44±3,06	26,29±2,91	23,14±2,77	19,99±2,51	16,84±2,31	14,30±1,76	0,45±0,08
ZPPL 62	28,09±3,28	23,29±3,09	25,29±3,09	19,69±2,56	16,89±2,04	14,09±1,94	0,40±0,07
ZPPL 233	27,44±3,80	29,36±3,51	21,28±3,33	18,30±3,07	15,12±2,81	12,04±2,24	0,44±0,09

Гибриды кукурузы с вертикально стоящими верхними листьями —

ZP 341, ZP 434, ZP 578 и ZP 684 давали высокий и стабильный урожай как при орошении, так и в естественных условиях (табл. 4). Гибриды хорошо развивались в достаточно густых посевах (до 70 тыс. растений на 1 га). При большей густоте урожайность значительно снижалась (10).

Полученные результаты указывают на высокий генетический потенциал урожайности у изученных гибридов. Интересно, что между гибридами не выявлено заметной разницы. В условиях орошения все они были более урожайными, чем без орошения. В засушливом 2007 году урожайность оказалась самой низкой (10).

**4. Урожайность зерна (т/га) у гибридов кукурузы с вертикально стоящими верхними листьями из разных групп спелости по ФАО, выращенных в разных условиях, в зависимости от густоты посева (опытное поле Института кукурузы «Zemun Polje», г. Белград, Сербия, 2003-2008 годы)**

Густота посева	ZP 341 (FAO 300)	ZP 434 (FAO 400)	ZP 578 (FAO 500)	ZP 684 (FAO 600)
Без орошения				
G1	9,28	10,14	9,82	10,79
G2	11,04	11,08	10,68	12,08
G3	11,53	11,44	11,53	12,82
G4	12,45	12,37	11,92	13,05
G5	12,12	12,26	11,99	13,25
G6	12,32	11,26	12,56	12,50
G7	11,83	11,63	11,85	12,20
$\bar{x}$	11,51	11,45	11,48	12,38
В условиях орошения				
G1	10,02	10,90	11,32	11,16
G2	12,01	11,95	12,67	12,96
G3	12,73	12,04	13,10	13,80
G4	13,48	13,17	14,18	13,49
G5	13,55	13,89	15,00	13,84
G6	13,48	13,61	14,90	13,86
G7	13,34	13,36	14,67	14,00
$\bar{x}$	12,66	12,70	13,69	13,30

Примечание. Значения G1-G7 см. в разделе «Методика».

Изучение физических характеристик и химического состава зерна у гибридов кукурузы с вертикально стоящими верхними листьями подтвердило, что оно обладает превосходными товарными качествами (табл. 5, 6).

**5. Физические показатели товарного качества зерна у гибридов кукурузы с вертикально стоящими верхними листьями (опытное поле Института кукурузы «Zemun Polje», г. Белград, Сербия, 2003-2008 годы)**

Гибрид	AM	NM	G	IF	OM	TF	MF	IAV
ZP 341	331,37	783,757	1,25	33,72	19,87	57,30	42,70	0,231
ZP 434	355,08	780,282	1,26	22,34	16,57	58,78	41,22	0,225
ZP 578	304,76	751,262	1,27	3,02	16,86	61,85	38,15	0,242
ZP 684	344,81	772,307	1,26	18,92	13,73	54,54	45,46	0,246

Примечание. AM — абсолютная масса, кг; NM — гектолитровая масса, кг · м<sup>-3</sup>; G — плотность, г · см<sup>-3</sup>; IF — индекс флотации, %; OM — сопротивление помолу, с; TF — доля твердой фракции эндосперма, %; MF — доля мягкой фракции эндосперма, %; IAV — индекс абсорбции воды.

**6. Химический состав зерна у гибридов кукурузы с вертикально стоящими верхними листьями (опытное поле Института кукурузы «Zemun Polje», г. Белград, Сербия, 2003-2008 годы)**

Гибрид	Крахмал, %	Белки, %	Жиры, %	Клетчатка, %	Зола, %
ZP 341	69,00	9,33	5,75	1,98	1,33
ZP 434	69,02	9,42	5,87	1,99	1,37
ZP 578	72,99	8,64	5,08	1,82	1,33
ZP 684	70,52	8,84	4,82	2,06	1,37

Таким образом, при использовании разработанного нами неинвазивного метода оценки флуоресценции растительных тканей выявлены биофизические характеристики, позволяющие оценить эффективность фотосинтетического аппарата, и показано, что его высокая активность и пла-

стичность в условиях повышенных и высоких температур характерна для инбредных линий кукурузы с вертикальным расположением верхних листьев. Кроме того, оказалось, что растения с указанной морфологией способны быстро терять воду из зерна при созревании. У гибридов, полученных с участием подобных инбредных линий, вертикальное расположение листьев наследуется по доминантному типу. Эти гибриды кукурузы высокоурожайны, их зерно обладает превосходными товарными качествами. Следовательно, инбредные линии кукурузы с вертикальным расположением верхних листьев имеют важное значение для селекции (как родительские формы), а также при производстве гибридных семян. Возможность массово оценивать с помощью неинвазивного биофизического метода такие селекционно значимые признаки, как активность фотосинтеза, позволяет более точно, рационально и быстро осуществлять селекцию, а также облегчает производство гибридных семян у кукурузы.

#### Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Duvick D.N. Genetic contribution to yield gains of U.S. hybrid maize, 1930-1980. In: Genetic contributions to yield gains of five major crop plants /W.R. Fehr (ed.). Spec. Publ., CSSA and ASA, Medison, WI 7, 1984: 15-47.
2. Trifunović V. Forty years of modern maize breeding in Yugoslavia. Proc. Genetics and Breeding of Maize (December 11-12, 1986). Maize Research Institute, Zemun Polje, Belgrade, Yugoslavia, 1986: 5-46.
3. Ivanović M., Petrović R., Drinić G. et al. Fifty years of ZP hybrids breeding. Proc. Breeding, Production and Maize Utilization. 50 Years of Maize Research Institute «Zemun Polje» (September 28-29, 1995). Maize Research Institute, Zemun Polje, Belgrade, Yugoslavia, 1995: 3-16.
4. Radenović Č., Šatar I., Husić I., Mišović M.M., Filipović M., Kojić L. A study of functioning of thylakoid membranes in inbred lines of maize (*Zea mays* L.). Genetika, 2000, 32(3): 377-386.
5. Radenović Č., Babić M., Delić N., Ristanović D. Effects of changes in thylakoid membranes — a measure for evaluations of resistance and adaptability of maize inbred lines to high temperature. Proc. Nat. Sci. Matica Srpska (Novi Sad), 2003, 101: 59-69.
6. Radenović Č., Konstantinov K., Delić N., Stanković G. Photosynthetic and bioluminescence properties of maize inbred lines with upright leaves. Maydica, 2007, 52: 347-356.
7. Radenović Č. A study of delayed fluorescence in plant models: photosynthetic, transportation and membrane processes. J. Serb. Chem. Soc., 1994, 59(9): 595-617.
8. Radenović Č., Babić M., Delić N., Hojka Z., Stanković G., Trifunović B., Ristanović D., Selaković D. Photosynthetic properties of erect leaf maize inbred lines as the efficient photo-model in breeding and seed production. Genetika, 2003, 35(2): 85-97.
9. Раденович Ч., Бабич М., Хойка З., Станкович Г., Трифунович Б., Ристанович Д., Делич Н., Селакович Д. Характеристика инбредных линий кукурузы с вертикально стоящими листьями для эффективного использования в селекции. Доклады Россельхозакадемии, 2004, 2: 7-9.
10. Radenović Č., Grodzinski D., Filipović M. et al The prestigious maize inbred lines and hybrids with erect top leaves are characterised by a property of anefficient photosynthetic model and a satisfactory base for the further progress in breeding and selection. Fiziologia i biohemia kult. rastenij, 2010, 42(3): 187-201.
11. Раденович Ч., Шатарич И., Иванович М., Койич Л. Биолуминесцентный отзыв инбредных линий кукурузы (*Zea mays* L.) на температуру и засуху. Доклады Российской академии сельскохозяйственных наук, 2001, 4: 13-16.
12. Radenović Č., Jeremić M., Marković D. Delayed chlorophyll fluorescence in plant models. Photosynthetica, 1994, 30: 1-24.
13. Radenović Č., Kalauzi A., Konstantinov R., Drinić G. Dynamics of generating transients of delayed fluorescence induction signal and photosynthetic antennas: a possible relationship. Mathematical modeling approach. Proc. Nat. Sci. Matica Srpska (Novi Sad), 2007, 112: 5-26.
14. Kalauzi A., Marković D., Radenović Č. Transients of delayed fluorescence induction signal and photosynthetic antennas: a possible relationship. Mathematical modeling approach. Russian Journal of Plant Physiology, 2006, 53(3): 289-297.



15. Radenović Č. Investigation of photoinduced bioluminescence in maize leaf. *Contemp. Agric.*, 1992, 40(6): 15-38.
16. Раденович Ч., Бабич М., Делич Н., Шатарич И., Коич Л. Новый фотосинтетическо-биолуминесцентный метод в селекции кукурузы. *Кукуруза и сорго*, 2002, 4: 21-24.
17. Radenović Č. Transportni procesi kroz membranu. *Savremena biofizika* (Beograd), 1998, 5: 1-90.
18. Rubin A.B., Focht A.A., Venediktov P.S. Some kinetic properties of electron-transfer processes on the primary photosynthesis reaction. *Transaction of the Moscow Society of Naturalists*, 1998, 28: 172-184.

<sup>1</sup>*Institut za kukuruz «Zemun Polje»,*

11185 Beograd-Zemun, ul. S. Bajića 1, Srbija;

<sup>2</sup>*Fakultet za fizičku hemiju, Univerzitet u Beogradu,*

11000 Beograd, Studentski trg 16, Srbija,

e-mail: radenovic@sbb.rs

*Поступила в редакцию*

*29 февраля 2012 года*

## BREEDING, PHYSICAL AND CHEMICAL FEATURES OF MAIZE INBRED LINES AND HYBRIDS WITH SIGNIFICANT BREEDING TRAITS AND EFFICIENT PHOTOSYNTHETIC FUNCTIONS

Č. Radenović<sup>1, 2</sup>, M. Filipović<sup>1</sup>, M. Babić<sup>1</sup>, V. Anđelković<sup>1</sup>,  
G. Stanković<sup>1</sup>, M. Sečanski<sup>1</sup>, Ž. Jovanović<sup>1</sup>

### S u m m a r y

Four maize inbred lines with erect top leaves and significant breeding traits, ZPPL 16, ZPPL 218, ZPPL 62 and ZPPL 233, were studied. These inbreds, as a female or a male component, are included into the development of more than 50 maize hybrids. However, only the following four hybrids are widely grown: ZP 341, ZP 434, ZP 578 and ZP 684 and they were also observed. This study confirms our hypothesis that there are elite maize inbred lines and hybrids with top erect leaves that have a dominant trait of an efficient photosynthetic model. The stated maize inbred lines with significant breeding traits are successfully used in contemporary breeding programmes and the production of hybrid seed of high quality. This observation is supported by results obtained on erect leaves of maize inbred lines with significant breeding traits, dynamics of grain dry down during the maturation period and photosynthetic and fluorescence parameters: changes in the chlorophyll delayed fluorescence intensity during its course and dynamics, the Arrhenius plot for determination of critical temperatures (phase transition temperatures) and the activation energies, as a measure of conformational changes in the thylakoid membrane. Furthermore, a grain structure of observed maize hybrids, including its physical and chemical parameters, were studied. The presented results indicate that properties of maize inbreds and hybrids with significant breeding traits are based on nature of structural and functional changes that occur in their chloroplasts and thylakoid membranes, as well as, other chemical tissue structures of intact leaves and grain, but also on progressive effects in the process of breeding and the production of commercial maize.

---

### Новые книги

**К и р ю ш и н В.И. Классификация почв и агроэкологическая типология земель.** СПб: изд-во «Лань», 2011, 288 с.

Рассматриваются агроэкологическая типология и методология формирования ландшафтно-экологической классификации земель в рамках зональных провинций России. Особое внимание уделено классификации почв как составной части классификации земель. Дан анализ развития классификации почв России и мира. Предложена агроэкологическая классификация почв, в основу которой положена действующая классификация с использованием новейших достижений в почвоведении. Проводится корреляция почвенной номенклатуры с терминологией Мировой реферативной базы почвенных ресурсов (WRB). Пособие предназначено для студен-

тов старших курсов при подготовке дипломированных специалистов и магистров, а также для научных и практических работников, занятых в сфере оценки земель и земельного проектирования.

**С е н н о в С.Н. Лесоведение и лесоводство.** СПб: изд-во «Лань», 2011, 336 с.

Приведены сведения о природе леса и его значении, об экологии и географии леса, о динамичности лесных сообществ в целом и их отдельных компонентов. Изложены теория и практика лесного хозяйства, основные способы и приемы его ведения, рассмотрены современные проблемы в области лесоводства как в России, так и в других странах, методы их решения. Предназначена для студентов высших учебных заведений, обучающихся по специальности «Лесное дело».