

Екологична стабилност на образци люцерна по основни количествени признаци

Валентин Косев*, Даниела Кертикова

Институт по фуражните култури, Плевен

*E-mail: valkosev@hotmail.com

Резюме

Проучени са девет образци люцерна (седем експериментални синтетични популации, един свободен хибрид и сорт Приста 2), при полски условия за три години (общо 8 откоса). Установени са доказани взаимодействия генотип-среда (години) по признаците дължина на стъблото и добив на суха и свежа маса. Факторът среда оказва много силно влияние върху почти всички изследвани признаци. Установено е по-силно влияние на фактора генотип за дължина на стъблото и листа, възел с първи цвят, добив на суха и свежа маса спрямо фактора взаимодействие генотип-среда. Изчислени са три вида параметри на стабилност: регресионен, вариансен и непараметричен. Синтетиците 11 Syn 5-2, 7 Syn 1+ и 13 Syn 5+, са определени като екологично стабилни с по-малка дължина на стъблото, а свободният хибрид Estival x Sewa – като високо продуктивен и вариабилен ($b_i=1.17$). Синтетик 5 Syn 1- е отзивчив със средно ниво на стабилност на признака ($b_i=1.06$). Sint-IGI е с висок добив на суха маса, но с ясно изразена отзивчивост ($b_i=1.14$) към подобряване на условията за отглеждане, което му осигурява високи добиви при условия над средните. Синтетиците 5 Syn 1- и 13 Syn 5+ могат да бъдат определени като екологично стабилни ($b_i=1.06$, $b_i=1.04$) с висок добив на суха маса ($917 \text{ kg}\cdot\text{da}^{-1}$; $912.18 \text{ kg}\cdot\text{da}^{-1}$), подходящи за отглеждане в широк диапазон от условия на средата. Синтетиците Sint-IGI ($S_i^2=0.83$) и 13 Syn 5+ ($S_i^2=11.08$) са стабилни и ниско адаптивни по тегло на зелената маса и са подходящи за отглеждане при неблагоприятни условия. Високо добивните на зелена маса популации 5 Syn 1- ($3172 \text{ kg}\cdot\text{da}^{-1}$) и Prista 2 ($3073 \text{ kg}\cdot\text{da}^{-1}$) са нестабилни, но притежават висока адаптивност, което им осигурява добиви при условия над средните.

Ключови думи: люцерна; образци; фенотипна стабилност; добив

Environmental stability of alfalfa accessions in basic quantitative traits

Valentin Kosev*, Daniela Kertikova

Institute of Forage Crops, Pleven

*E-mail: valkosev@hotmail.com

Citation

Kosev, V., & Kertikova, D. (2019). Environmental stability of alfalfa accessions in basic quantitative traits. *Rastenievadni nauki*, 56(2), 9-19 (Bg).

Abstract

Nine alfalfa accessions (seven experimental synthetic populations, one free hybrid and cv. Prista 2) were studied under field conditions for three years (8 total cuts). Established genotype-environment interactions (years) have been established for signs of stem length and yield of dry and fresh mass. The factor environment has a very strong impact on almost all the studied features. A stronger effect of genotype factor of the stem and leaf length, node with first flower, dry and fresh yield on the genotype interaction factor was found. Three types of stability parameters have been calculated: regression, variation and nonparametric. Synthetics 11 Syn 5-2, 7 Syn 1+ and 13 Syn 5+ are defined as ecologically stable with a shorter stem length and the free hybrid Estival x Sewa as

highly productive and variable ($bi = 1.17$). Synthetic 5 Syn 1 is responsive with mean stability of the sign ($bi = 1.06$). Sint-IGI has a high dry mass yield, but with a pronounced responsiveness ($bi = 1.14$) to improving cultivation conditions, which provides high yields above average. Synthetics 5 Syn 1- and 13 Syn 5+ can be defined as ecologically stable ($bi = 1.06$, $bi = 1.04$) with high dry weight yield ($917 \text{ kg}\cdot\text{da}^{-1}$, $912.18 \text{ kg}\cdot\text{da}^{-1}$) suitable for growing in a wide range of environmental conditions. Synthetics Sint-IGI ($Si2 = 0.83$) and 13 Syn 5+ ($Si2 = 11.08$) are stable and low adaptive by weight of the green mass and are suitable for growing under unfavourable conditions. Highly yielding green mass populations 5 Syn 1- ($3172 \text{ kg}\cdot\text{da}^{-1}$) and Prista 2 ($3073 \text{ kg}\cdot\text{da}^{-1}$) are unstable but have a high adaptability that provides them with yields above average.

Keywords: alfalfa accessions; phenotypic stability; yield

Обикновената люцерна (*Medicago sativa* L. ssp. *sativa*) е най-важната фуражна бобова култура в света (Bouton, 2012). Тя е полиморфен вид, но се възприема като най-значимият фуражен вид в умерения климат (Veronesi et al., 2010). Водещата роля на люцерната във фуражното производство се обуславя от големите ѝ продуктивни възможности и високата хранителна стойност на фуража. В световен мащаб се отглежда на повече от 32 милиона хектара, като основните райони са: Северна Америка (41%), Европа (25%), Южна Америка (23%), Азия (8%), Африка (2%) и Океания (1%) (Yuegao et al., 2009).

У нас по разпространение е в топ десет сред икономически важните за страната земеделски култури (МЗХГ, Агростатистика). За условията на България, тя е най-високопродуктивното тревно фуражно растение, с най-голяма бързина, мощност и енергия на подрастване и отавност (Maslinkov, 1978). Люцерната в свежо състояние или консервирана като сено, сенаж или дехидрат може да се използва за изхранване на всички видове животни (Krachunov et al., 2006). Не на последно място, с отглеждането ѝ се подобрява и почвеното плодородие (Vasileva & Kostov, 2015 a, b).

Предвид разпространението и значението на люцерната, в света се извършва интензивна селекционна дейност. В същото време се констатира бавен генетичен прогрес при добива в сравнение с други култури, като причините са обект на дискусия в редица публикации (Rotili et al., 1996, 1999; Julier et al., 2003; Veronesi et al., 2006; Brummer, 2008; Annicchiarico et al., 2010). Отчита се, че новите сортове люцерна се характеризират с фуражна продукция, която средно е само с 5% по-висока от старите сортове и адаптирани екотипи (Veronesi et al., 2010).

Добивът на суха маса, характеризиращ агрономическата стойност на сортовете люцерна е основният признак, по който се извеждат селекционните програми. Фенотипната експресия на вариабилността на този признак е резултат, както от действието на генотипа и факторите на околната среда, така и от тяхното сложно взаимодействие (Babinec & Mikolaskova, 1992).

При наличие на динамично взаимодействие между генотипа и средата на отглеждане е необходимо да се получи подробна информация за поведението на всеки сорт по отношение на измененията във факторите на средата. Анализите за адаптивност и стабилност са изключително важни и необходими, за да се идентифицират и препоръчат подходящи генотипове за различни среди. В селекцията на растенията, когато целта е да се подберат или препоръчат генотипове за отглеждане в специфични в почвено-климатично отношение райони, изследването на взаимодействието между генотип и среда е от изключителна важност (Cruz et al., 2004; Nascimento et al., 2013; Moysés et al., 2015).

Фенотипната стабилност на растенията може да бъде разделена на два основни типа – стабилност в биологичен и агрономически смисъл. Устойчивостта в биологичен (статичен) смисъл се отнася до способността на генотиповете да поддържат относително постоянство (хомеостаза) на нивото на признака в различни среди, с ниско вариране между тях. Стабилността в агрономическия (динамичен) смисъл показва, че генотипът реагира положително на подобрения в условията на отглеждане и може да се представя добре с ниво над средното в различни райони (Sabaghnia et al., 2015).

Специфичната реакция на растенията в зависимост от условията на отглеждане предста-

влява особен интерес както за селекционерите, така и за фермерите. За селекционера е важно да възприеме методи, при които стабилността на генотипа се свързва с висок среден добив на зърното (или на надземната маса). Понастоящем, сред различните методи за определяне на екологичната стабилност на генотиповете се прилагат няколко типа на базата на регресионен, вариансен и непараметричен анализ, а също така и графичен анализ (GGE biplot), даващ възможност за едновременен анализ на генотиповете по висок среден добив и стабилност (Yan et al., 2007; Yan, 2016).

Целта на това изследване е да се направи оценка на фенотипната стабилност на образци люцерна по основни количествени признаци и да се определи възможността за използването им в различни в климатично отношение региони.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИ

Изследването е проведено през 2000-2002 г. в опитното поле на Институт по фуражните кул-

тури, Плевен. Анализирани са девет образци люцерна – седем експериментални синтетични популации, наричани за краткост синтетици (7 Syn 1+, 13 Syn 5+, 13 Syn 7+, 13 Syn 5-, 5 Syn 1-, 11 Syn 5-2, Sint-IGI), сорт Prista 2 и свободен хибрид Estival x Sewa. Информацията за основни характеристики на образците е представена в Таблица 1.

Полският опит е изведен по блоковия метод в четири повторения с 4 m² отчетна парцелка, при междуредие 12,5 cm. Сеитбата е извършена ръчно на дълбочина 2 cm със сеитбена норма 3 kg.da⁻¹. Люцерната е отглеждана при неполивни условия, а прибирането за фураж е извършвано във фаза начало на цъфтеж. Добив зелена маса е измерван на място. Добив сухо вещество (DMY) е определян след изсушаване на проби. Броят на откосите и датите на прибиране през годините на проучване са както следва: 2000 г. – един откос (30.06.); 2001 г. – три откоса (21.05.; 26.06.; 26.07.); 2002 г. – четири откоса (23.05.; 18.06.; 22.07.; 26.08.).

Отчетени са следните количествени признаци – дължина на стъблото (cm), дебелина на

Таблица 1. Основна информация за образците люцерна включени в експеримента

Table 1. Basic information about alfalfa accessions included in the experiment

Варианти/ Variants	Брой родителски компоненти/ Number of parental components	Структура*/ Structure*	Поколение/ Progeny	Есенен покой (бал)/ Fall dormancy (rating)	Оценка на майчините растения: +положителна –отрицателна/ Mother plant evaluation: +positive -negative
7 Syn 1+	7	СП/SP	Syn ₀	1	+
13 Syn 5+	13	СП/SP	Syn ₀	5	+
13 Syn 7+	13	СП/SP	Syn ₀	7	+
13 Syn 5-	13	СП/SP	Syn ₀	5	-
5 Syn 1-	5	СП/SP	Syn ₀	1	-
11 Syn 5-2	11	СП/SP	Syn ₀	5	-
Sint-IGI	5	СП/SP	Syn ₀	5	+
Prista 2	7	сорт/cultivar	Syn ₂	5	без/non
Estival x Sewa	2	свободен хибрид free hybrid	Syn ₁	9	+

*СП – синтетична популация; SP – synthetic population

Легенда: бал 1 - в покой; бал 5 - полу покой; бал 7 - полу покой до без покой; бал 9 - без покой

Legend: rate 1 - dormancy; rate 5 - semi dormancy; бал 7 - semi dormancy up to non dormant; бал 9 - non dormancy

стъблото (mm), дължина и ширина на листата (cm), възел с първи цвят, добив суха маса (kg.da⁻¹) и добив зелена маса (kg.da⁻¹). Биометричните измервания са правени на 20 стъбла от всеки вариант по откоси.

Получените данни са обработени чрез двуфакторен анализ на дисперсията за всеки признак за определяне на ефекта на генотипа (G), средата (E) и взаимодействието генотип-среда (G x E). Оценката на екологичната стабилност на изследваните сортове е направена чрез прилагане на следните методи: регресионен анализ - според Еберхарт и Ръсел (Eberhart & Russell, 1966), чрез регресионния коефициент (bi) и дисперсията на отклоненията от регресията (Si²); Tai (1979) – ai, li; анализ на дисперсията - средна дисперсионна компонента (PP) съгласно Plaisted и Peterson (1959); нековалентност (W2), Wricke (1965) и Annicchiarico (1992); непараметричен анализ чрез използване на параметъра Pi и ранг (R) по модела на Lin и Binns (1988). Средната дисперсионна компонента на Plaisted и Peterson (1959) е показател за приноса на сорта към взаимодействието на GE и е изчислен от общия анализ на двойката. Методът на Annicchiarico предлага индекс на надеждност (Wi), който оценява вероятността даден генотип (сорт) да представи по-ниска от средната за околната среда или под всеки използван стандарт.

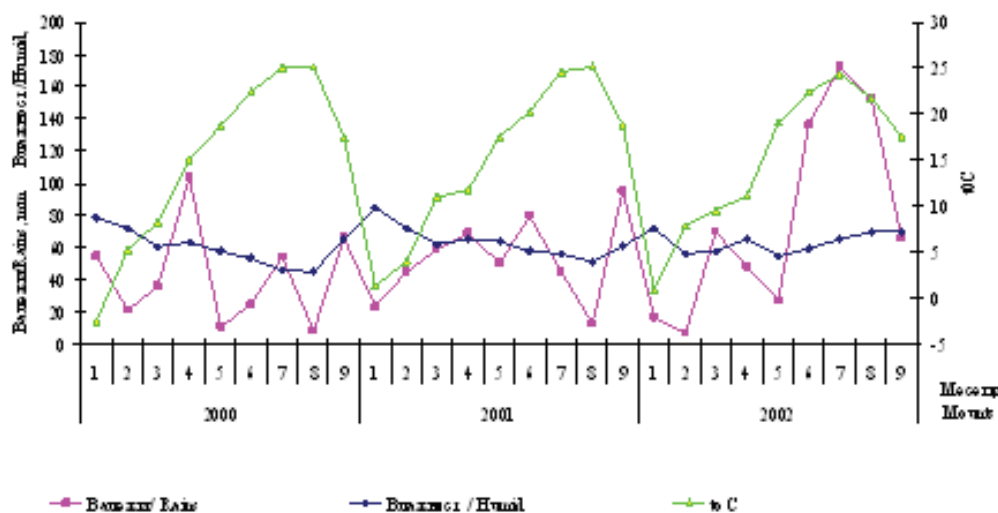
Направен е модел на GGE biplot, който използва единична декомпозиция на стойността на първите две главни компоненти (Yan, 2002).

Всички експериментални данни са обработени статистически с помощта на компютърния софтуер GENES 2009.7.0 за Windows XP (Cruz, 2009).

РЕЗУЛТАТИ И ОБСЪЖДАНЕ

Агрометеорологичните условия за периода на изследване са представени чрез сумата на валежите и средно-денонощната температура на въздуха (Фиг. 1). Средната сума на валежите се характеризира с изразен максимум през месец април 2000 г. (103 mm) и през месец юли 2002 г. (172 mm). За отбелязване е, че през третата година в три последователни месеци (юни, юли и август), стойностите на валежите са много високи – общо 460.6 mm. Това количество на валежите е по-голямо от годишната сума за първата година. Средноденонощната температура през месеците април, май и юни е в диапазон от 11.1°C до 22.4°C. И през трите години на проучване най-висока средно месечна температура на въздуха е отчетена през месеците юли (24.6°C) и август (25.2°C). Анализът показва, че по отношение на температурата на въздуха, експерименталните години не се различават съществено.

Метеорологичните фактори – температура на въздуха и количество на валежите, са показали благоприятно съчетание помежду си за 2002 година, което е оказало своето позитивно влияние върху продуктивността на растенията



Фигура 1. Метеорологична характеристика за периода 2000-2002 година
 Figure 1. Meteorological characteristics for the period 2000-2002

и формиране на най-голям брой откоси. Като по-неблагоприятни за растежа и развитието на растенията могат да бъдат определени първите две години от изследването (2000 и 2001).

Дисперсионен анализ

Резултатите от дисперсионния анализ (Таблица 2) показват, че образците се различават достоверно по своята генетична същност по отношение на признаците дължина на стъблото, добива на суха и зелена маса. Не са установени статистически значими различия по отношение на признаците дебелина на стъблото, дължина и ширина на листа и възел с първи цвят. По дължина и ширина на листа статистически не е доказано влиянието на нито един от източниците на вариране. Стойностите на средна сума на квадратите за всички признаци показват, че влиянието на средата е многократно по-силно от влиянието на другите два фактора – гено-

тип (сорт) и взаимодействието генотип-среда за почти всички признаци. Значителното вариране на тези признаци по години показва, че формирането им зависи в голяма степен от изменящите се условия на отглеждане. Частта от варирането, дължаща се на генотипа, превишава значително влиянието да другите два фактора по добива на суха и зелена маса. Следователно, по тези признаци може да се води ефективен отбор независимо от условията на средата.

Факторът генотип (сорт) е с по-голям дял на влияние от общото вариране за дължина на стъблото и на листа, възел с първи цвят и добив на суха и зелена маса спрямо фактора взаимодействие генотип-среда. При ширината на листа и добива на зелена маса последния фактор е с по-голям дял. Получените резултати обосновават необходимостта от извършване на преценка на екологичната стабилност на дължината на стъблото и добив на сухата маса.

Таблица 2. Средни квадрати от анализ на варианса на 9 образци люцерна за седем признака
Table 2. Medium squares from the analysis of variance of 9 alfalfa accessions for seven traits

SV	DF	Среден квадрат/Medium squares						
		LS	TS	LL	LW	NFF	DMY	GMY
Среди (години) (E)/ Environment (years) (E)	2	6310.11***	41.633***	1.8628	0.395	75.11***	32361.89**	418624*
Генотипове (G)/ Genotypes (G)	8	47.35***	0.017	0.0863	0.059	2.33	3387189**	46635479**
Взаимодействие GxE/ Interaction GxE	16	13.60***	0.018	0.0247	0.237	1.11	10101.02**	124517.8**
Env/Gen	18	713.21***	4.642***	0.2289	0.632	9.33***	12574.45**	157196.2**
Env/7 Syn 1+	2	643.37***	4.413**	0.3665	0.036	12.00***	554.7653**	7313.021**
Env/13 Syn 5+	2	755.56***	4.910**	0.2609	0.043	12.00***	345.4439**	5150.438**
Env/13 Syn 7+	2	952.57***	4.412**	0.2681	0.017	17.33***	241.9327**	19334.9**
Env/13 Syn 5-	2	698.01***	3.962**	0.0769	0.068	12.00***	16184.73**	55363.02**
Env/5 Syn 1-	2	571.25***	4.351**	0.1941	0.052	4.00**	14034.43**	246534.9**
Env/11 Syn 5-2	2	693.28***	6.035***	0.1969	0.012	4.00**	54273.85**	633309.4**
Env/Prista 2	2	585.37***	4.410**	0.1708	0.046	5.33**	3989.826**	21302.08**
Env/Sint-IGI	2	560.37***	4.466**	0.1777	0.007	5.33***	3024.895**	42552.08*
Env/Estival x Sewa	2	959.08***	4.814**	0.3481	0.036	12.00***	20520.16**	383906.3**
SIDUO	25							

Significant at P = 0.1 (*), 0.05 (**), P = 0.01 (***)

Легенда: Дължина на стъбло (LS), Дебелина на стъблото (TS), Дължина на листа (LL), Ширина на листа (LW), Възел с първи цвят (NFF), Добив суха маса (DMY), Добив зелена маса (GMY);

Legend: Length of a stem (LS), Thickness of the stem (TS), Leaf length (LL), Leaf width (LW), Node with first flower (NFF), Dry matter yield (DMY), Green mass yield (GMY).

Оценка на екологичната стабилност

Понятието фенотипна пластичност изразява количествената промяна в експресията на даден признак при промяна на условията на околната среда. Взаимодействието генотип-среда е еквивалент на генотипното вариране върху фенотипната пластичност. Това качество най-добре се изразява чрез регресионния коефициент b_i . Колкото стойността на коефициента е по-голяма, толкова сортът е по-чувствителен към промените в условията на околната среда.

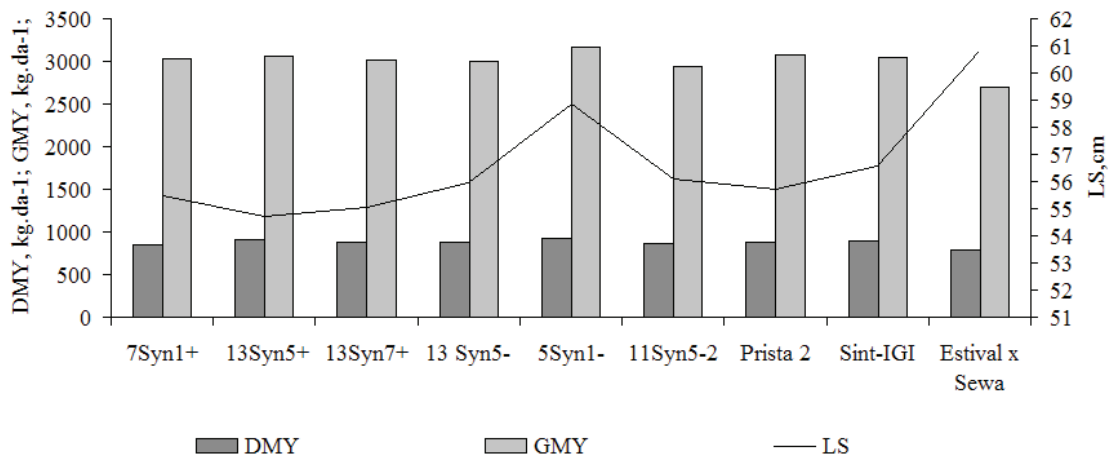
В случай, че $b_i < 1$, сортът реагира слабо на изменение в условията средата, спрямо средната реакция от набора изследвани сортове. Такива сортове могат да се използват при екстензивен фон на земеделие, където тяхното отглеждане ще има максимален ефект при най-ниски разходи. При условие, че $b_i = 1$ е налице пълно съответствие между продуктивността на сорта и измененията в условията на отглеждане.

На Таблица 3 е представена реакцията на набор от използваните образци люцерна по отношение на дължината на стъблото и добива на суха маса. Свободният хибрид Estival x Sewa се характеризира с най-високи стойности на признака дължина на стъблото (Фигура 2), но и с най-висок статистически доказан коефициент на регресия ($b_i = 1.17$). В сходно положение се намира и синтетик 13 Syn 7+ ($b_i = 1.16$), но растенията му са с по-къси стъбла. Тези образци са отзивчиви и при благоприятни условия могат да раз-

вият растения с по-дълги стъбла. Sint-IGI проявява много добре доказана стабилност ($b_i = 0.89$) към условията на отглеждане, но растенията на този синтетик са сравнително ниски.

Поради липса на значимост в стойностите на параметрите на Eberhart и Russell (1966) при всички образци, комплексната оценка на екологичната стабилност е направена по другите показатели. Параметрите, основани на анализа на варианса (PP , W^2 и W_i) определят като най-стабилни по този признак синтетиците 11 Syn 5-2, 7 Syn 1+ и 13 Syn 5+, които спадат към групата с по-къси стъбла. Според оценката на непараметричния анализ на Lin и Binns (1988), последните два синтетика заемат първите две места. Вниманието заслужава и 5 Syn 1-, който е с малко по-голяма вариабилност, отличава се със средно ниво на стабилност на признака, но заема втора позиция по стойността на дължина на стъблото.

Синтетиците 5 Syn 1- и 13 Syn 5+ се характеризират с пределна стойност на признака добив на суха маса ($917.07 \text{ kg.da}^{-1}$; $912.18 \text{ kg.da}^{-1}$) (Фигура 2), но и с коефициент на линейна регресия b_i много близо до единица ($b_i = 1.06$, $b_i = 1.04$), което ги определя като възможно най-близки до "идеалния" генотип по този признак. Параметрите на стабилност по Plaisted и Peterson (1979) потвърждават оценката по Eberhart и Russell (1966) и Tai (1979). Тези синтетици определено представляват селекционен интерес, съчетавайки в себе си висок добив на суха маса с еколо-



Фигура 2. Средни стойности на образци люцерна по признаци (2000-2002 г.)

Figure 2. Mean values of alfalfa accessions by traits (2000-2002)

Легенда: LS – дължина на стъбло, DMY – добив суха маса, GMY – добив зелена маса

Legend: LS – stem length, DMY – dry matter yield, GMY – green mass yield

гична стабилност и са подходящи за отглеждане в широк диапазон от условия на средата. Сорт Prista 2 е с близки стойности за b_i ($b_i=1.04$),

по-слабо продуктивен, но с тегло на сухата маса над средното за изследваната група популации люцерна.

Таблица 3. Параметри на фенотипна стабилност на образци люцерна по дължина на стъблото, добив суха и зелена маса

Table 3. Parameters of phenotypic stability of alfalfa accessions along the stem length, yield of dry and green mass

Варианти/ Variants	Eberhart & Russell (1966)		Tai (1979)		Lin & Binn (1988)	Plaisted & Peterson (1979)	Wricke (1965)	Anni- cchiarico (1992)
	b_i	S_i^2	a_i	λ_i	P_i	PP	W^2	W_i
Дължина на стъблото/Length of stem								
7 Syn 1+	0.96	1.11*	0.96	3.05	0.042	2.023	8.149	98.10
13 Syn 5+	1.04	1.92**	1.04	4.87	6.408	2.180	10.389	96.47
13 Syn 7+	1.16**	2.49**	1.16	6.18	13.363	4.816	47.882	96.55
13 Syn 5-	0.99	7.58**	0.99	17.61	14.403	3.669	31.562	98.94
5 Syn 1-	0.90	1.91**	0.90	4.87	15.445	3.059	22.887	104.52
11 Syn 5-2	0.99	0.10	0.99	0.33	17.628	1.494	0.629	99.14
Prista 2	0.91	2.15**	0.91	5.39	17.685	2.923	20.949	98.74
Sint-IGI	0.89*	3.97**	0.89	9.51	18.157	3.891	34.727	100.43
Estival x Sewa	1.17**	0.24	1.17	0.02	20.733	4.288	40.362	107.12
Добив суха маса/Dry matter yield								
7 Syn 1+	0.98**	275**	0.03	621.03	40	1820	7930	20.12
13 Syn 5+	1.04**	12.6**	0.30	28.93	1544	1515	3593	21.72
13 Syn 7+	0.91**	101**	0.10	228.07	1669	1696	6171	20.26
13 Syn 5-	0.99**	2343**	1.79	5273.78	38759	2236	13843	150.70
5 Syn 1-	1.06**	15.4**	1.97	34.73	49008	1746	6877	157.21
11 Syn 5-2	0.97**	2611**	3.69	5874.42	64387	5665	62616	148.83
Prista 2	1.04**	1964**	0.13	4420.46	717916	2198	13310	124.10
Sint-IGI	1.14**	1329**	0.32	2990.70	727424	1871	8650	120.62
Estival x Sewa	0.85**	9458**	0.91	23016.20	730115	3978	38627	113.09
Добив зелена маса/Green mass yield								
7 Syn 1+	0.25	2252**	0.25	5068	5704	26348	153361	18.26
13 Syn 5+	0.33	11.08**	0.33	27.76	17552	18486	41553	20.34
13 Syn 7+	0.34	6976**	0.34	15707	34642	29274	194980	17.58
13 Syn 5-	0.93	7370**	0.93	16584	1696890	17666	29882	167.13
5 Syn 1-	1.64	60426**	1.64	135960	1929089	35270	280263	169.05
11 Syn 5-2	3.66	4737**	3.66	10640	2194626	63256	678273	163.50
Prista 2	0.06	10554**	0.06	23748	10759558	25942	147592	110.82
Sint-IGI	0.96	0.83*	0.96	2.42	10921663	15577	181	109.34
Estival x Sewa	2.12	87318.53**	2.12	196463	10942319	48344	466198	100.17

Significant at $P = 0.05$ (*), $P = 0.01$ (**)

Sint-IGI е също високодобивен на суха маса ($896.51 \text{ kg}\cdot\text{da}^{-1}$), но с ясно изразена отзивчивост ($b_i=1.14$) и може да бъде препоръчан за отглеждане при високо ниво на агротехника, при която би могъл да изяви много по-добре своите биологични възможности. Останалите синтетици могат да бъдат отнесени към групата на ниско вариабилните генотипове ($b_i < 1$), което свидетелства за тяхната стабилност при влошаване на условията, но поради по-ниския си добив не биха били предпочетени.

За условията на трите последователни години на изследване, с най-висок добив на свежата биомаса се отличава 5 Syn 1- ($3172 \text{ kg}\cdot\text{da}^{-1}$), следван от Prista 2 ($3073 \text{ kg}\cdot\text{da}^{-1}$) и 13 Syn 5+ ($3059 \text{ kg}\cdot\text{da}^{-1}$). Образците люцерна са с недостовърни стойности на b_i , поради което стабилността на добива на свежата маса е определен чрез величината на S_i^2 . Най-стабилни по способността си да формират значителна по тегло свежа биомаса са Sint-IGI ($S_i^2=0.83$) и особено 13 Syn 5+ ($S_i^2=11.08$). Те са със слаба реакция към подобряване на условията за отглеждане и много слабо могат да реагират при комфортни среди. В подкрепа на това са и числовите изражения на параметрите на стабилност на Plaisted & Peterson (1979) и Wricke (1965).

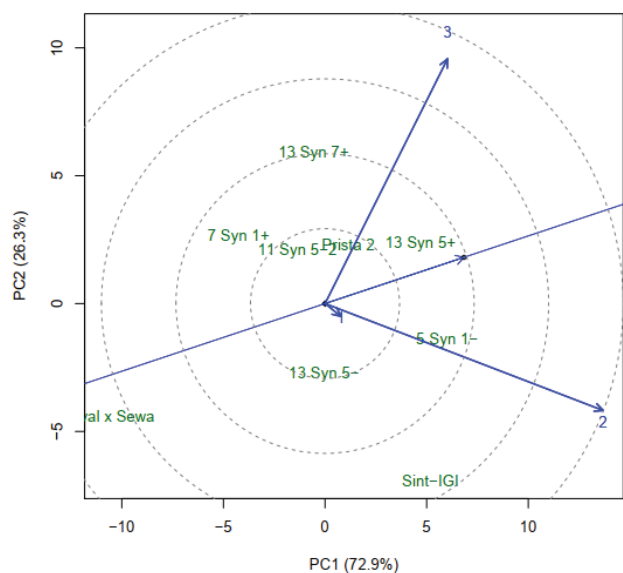
По-значителни са колебанията на добива на зелената маса при 7 Syn 1+, 13 Syn 7+, 13 Syn

5- и 11 Syn 5-2, които се характеризират със средно ниво на признака. В позицията на най-отзивчиви към подобряване на условията на средата се оказват 5 Syn 1- ($S_i^2=60426$) и Prista 2 ($S_i^2=10554$), които при висок агрофон могат да формират максимална стойност на признака, но и рязко да я намалят при лимитиращи условия на средата.

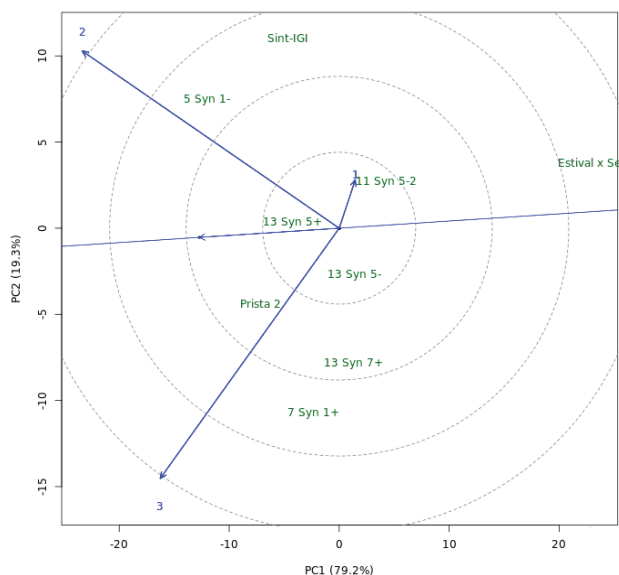
GGE biplot анализ

GGE biplot е представен на Фигура 3. В модела на анализа са представени само два основни компонента (PC1 и PC2), защото този модел по най-добрия начин подчертава закономерностите в поведението на вариантите и премахва ненужни данни. Колкото факторите на които може да бъде разпределено варирането са повече от два, толкова влиянието върху дадения признак е нелинейно. Това означава, че при промяна на условията за формиране на признака, част от образците може да не реагират положително или да променят своите стойности в обратна на условията посока.

Средната тестерна координата или линията на добива суха маса започва от началото на биплота със стрелка, обозначаваща положителния край на оста. Оста на стабилността също води началото си от координатата на биплота. Тя е със стрелки в двата края и е перпендику-



Добив суха маса/ Dry matter yield



Добив зелена маса/ Green mass yield

Фигура 3. GGE biplot анализ за добив (суха и зелена маса) на образци люцерна
Figure 3. GGE biplot analysis for yield (dry and green mass) of alfalfa accessions

лярна на линията на добива. Средният добив на генотипа се оценява по проекцията на всеки синтетик (сорт) спрямо оста X.

„Идеалният” генотип е този, който притежава както високо средно изражение на изследвания признак, така и висока стабилност при различни среди. Реално такъв генотип може и да не съществува, но той може да бъде използван като еталон при оценка на генотиповете.

В проведеното изследване по добива на суха маса, дължината на векторите определя синтетиците Sint-IGI и 13 Syn 7+ като силно вариабилни с добив близо до средния за извадката от образците използвана в изследването. Късият вектор при Estival x Sewa характеризира хибрида като стабилен, но той е и с най-нисък добив. Синтетиците 11 Syn 5-2 и 13 Syn 5- са в по-благоприятно положение поради по-високия си добив. Като най-желан се оказва 13 Syn 5+, който проявява много високо ниво на стабилност на признака и успява да формира значителна като количество суха маса. В бъдещите селекционни изследвания внимание заслужава и 5 Syn 1-, който е относително стабилен и е с най-висок добив на суха маса.

Резултатите от GGE biplot анализа за добив на свежата маса показват, че първият и вторият главни компоненти (PC1 и PC2) определят 98.5% от общото вариране, дължащо се на взаимодействието на генотипа със средата (Фигура 3). GGE biplot е представен във вид на концентрични кръгове и разкрива, че сред изследваните образци люцерна 13 Syn 5+ е най-стабилен и потвърждава резултатите, получени от другите методи за оценка на стабилността на признака. Популацията 5 Syn 1- е отдалечена от идеалния център, характеризира се с най-висок добив на зелената маса, проявява ниска адаптивност и висока отзивчивост. Синтетиците 13 Syn 5- и 11 Syn 5-2 са в границите на същия концентричен кръг, т.е. близко до „идеалния” генотип по отношение на стабилността, но са със сравнително по-нисък добив на зелена биомаса. В непосредствена близост до тях, въпреки че вече е в друг концентричен кръг, е разположен сорт Prista 2, който заслужава внимание поради високия си добив на зелена маса (заема втора позиция) и добрата фенотипна стабилност на този признак.

Costa et al. (2015) в своите резултати съобщават за наличие на несъществени различия между из-

следваните от тях сортове както по години, така и по пунктове на отглеждане. Авторите считат, че това вероятно се дължи на сложното взаимодействие между сортовете и експерименталните полета, които променят рангуването на генотиповете, оценявани през съответния период.

Nascimento et al. (2011) след оценка на адаптивността и фенотипната стабилност на образци люцерна са стигнали до заключението, че при използването на различни методи и модели за оценка на фенотипната стабилност, трябва да се вземе под внимание априорната информация за генотиповете, за да бъде дадена по-точна препоръка за използването им. Нашите резултати показват, че добра фенотипна стабилност при люцерната за добив на суха маса може да се очаква от изходен материал с есенен покой – бал 5, т.е. полу-покой.

Според Rotili et al. (1996) в сложния комплекс от фактори, които оказват влияние върху стойностите и стабилността на добива на фураж и семена при синтетичните сортове люцерна, значение има и броят на родителските компоненти. Анализът на експерименталните резултати на проучените образци показва, че само една част от проучените синтетици с по-голям брой компоненти са с по-добра екологична стабилност на добив на суха маса.

Според Abd El-Sattar et al. (2016) концепцията за стабилност на сортовете се променя в зависимост от развитието на конкретната селекционна стратегия и направление на използване. Авторите дефинират стабилния сорт като такъв, чието поведение кореспондира с променящата се среда на ниво, съответстващо на направената прогноза или оценка. Според тях ефективността на селекционния процес може драстично да бъде намалена, когато критерият е селекция на нови генотипове, подходящи за отглеждане в много различаващи се среди.

ИЗВОДИ

Установени са доказани взаимодействия генотип-среда (години) по признаците дължина на стъблото и добив на суха и свежа маса. Факторът среда оказва много силно влияние върху почти всички изследвани признаци. Установено е по-силно влияние на фактора генотип за дъл-

жина на стъблото и листа, възел с първи цвят, добив на суха и свежа маса, спрямо фактоа взаимодействие генотип-среда.

Синтезиците 11 Syn 5-2, 7 Syn 1+ и 13 Syn 5+ са определени като екологично стабилни с по-малка дължина на стъблото, а свободният хибрид Estival x Sewa – като високо продуктивен и вариабилен ($bi=1.17$). Синтетик 5 Syn 1- е отзивчив със средно ниво на стабилност на признака ($bi=1.06$).

Sint-IGI е с висок добив на суха маса, но с ясно изразена отзивчивост ($bi=1.14$) към подбръване на условията на отглеждане, което му осигурява високи добиви при условия над средните. Синтезиците 5 Syn 1- и 13 Syn 5+ могат да бъдат определени като екологично стабилни ($bi=1.06$, $bi=1.04$), с висок добив на суха маса ($917\text{ kg}\cdot\text{da}^{-1}$; $912.18\text{ kg}\cdot\text{da}^{-1}$), подходящи за отглеждане в широк диапазон от условия на средата.

Синтезиците Sint-IGI ($Si^2=0.83$) и 13 Syn 5+ ($Si^2=11.08$) са стабилни и ниско адаптивни по тегло на зелената маса и са подходящи за отглеждане при неблагоприятни условия. Високодобивните на зелена маса популации 5 Syn 1- ($3172\text{ kg}\cdot\text{da}^{-1}$) и Prista 2 ($3073\text{ kg}\cdot\text{da}^{-1}$) са нестабилни, но притежават висока адаптивност, което им осигурява добиви при условия над средните.

ЛИТЕРАТУРА

Abd El-Sattar, A. M., El-Sayed, K. M., Sharshar, M. S. E., & EL-Fanah, A. M. S. (2016). Stability analysis of yield and solvent retention capacity (src) measures for bread wheat genotypes in Egypt. *Egypt. J. Plant Breed.*, 20(4), 677-699.

Annicchiarico, P. (1992). Cultivar adaptation and recommendation from alfalfa trials in Northern Italy. *Journal of Genetics and Breeding*, 46, 269-269.

Annicchiarico, P., Scotti, C., Carelli, M., & Pecetti, L. (2010). Questions and avenues for lucerne improvement. *Czech Journal of Genetics and Plant Breeding*, 46(1), 1-13.

Babinec, J. & Mikolaskova, J. (1992). Some results of breeding proved in the interstational tests with alfalfa. In: Proceedings of the Xth International conference of the EUCARPIA Medicago spp. group, Lodi, Italy, 349-352.

Bouton, J. H. (2012). Breeding lucerne for persistence. *Crop and Pasture Science*, 63(2), 95-106.

Brummer, E. C. (2008, October). Alfalfa improvement and the maize syndrome: Have we suffered enough. In *Workshop for Pietro Rotili and the genetic improve-*

ment of alfalfa= Workshop La figura di Pietro Rotili e il miglioramento genetico dell'erba medica. CRA-FLC, Lodi (pp. 55-69).

Costa, A. F., Leal, N. R., Ventura, J. A., Gonçalves, L. S. A., Amaral Júnior, A. T. D., & Costa, H. (2015). Adaptability and stability of strawberry cultivars using a mixed model. *Acta Scientiarum. Agronomy*, 37(4), 435-440.

Cruz, C. D. (2009). Programa genes: Biometria, version 7.0. *University of Federal Viçosa, Viçosa, Brazil*.

Cruz, C. D., Regazzi, A. J., & Carneiro, P. C. S. (2004). Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético, Vol. 2. Editora UFV, Viçosa, 480 p.

Eberhart, S. T., & Russell, W. A. (1966). Stability parameters for comparing varieties. *Crop Science*, 6(1), 36-40.

Julier, B., Barre, P., Hebert, Y., Huguet, T., & Huyghe, C. (2003). Methodology of alfalfa breeding: a review of recent achievements. *Czech Journal of Genetics and Plant Breeding*, 39(Special issue), 71-81.

Krachunov, I., Kertikova D., & Ilieva, A. (2006). Forage quality of four lucerne varieties and possibilities for its estimation through the stem length. *Journal of Mountain Agriculture on the Balkans*, 9(4), 559-572.

Lin, C. S., & Binns, M. R. (1988). A superiority measure of cultivar performance for cultivar x location data. *Canadian Journal of Plant Science*, 68(1), 193-198.

Maslinkov, M. (1978). *On the biological features, cultivation, use and improvement of lucerne. Dissertation, Plovdiv, Bulgaria.*

Moysés N., Adésio F., Nascimento C., Carolina A., Fabiano S. F., Ferreira P., Cruz R., & Damião, C. (2015). Multiple centroid method to evaluate the adaptability of alfalfa genotypes. *Revista Ceres*, 62(1), 30-36.

Nascimento, M., Silva, F. F., Sáfyadi, T., Nascimento, A. C. M. C., de Paula Ferreira, R., & Cruz, C. D. (2011). Abordagem bayesiana para avaliação da adaptabilidade e estabilidade de genótipos de alfafa. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 46(1), 26-32.

Nascimento, M., Peternelli, L. A., Cruz, C. D., Nascimento, A. C. C., Ferreira, R. D. P., Bhering, L. L., & Salgado, C. C. (2013). Artificial neural networks for adaptability and stability evaluation in alfalfa genotypes. *Crop Breeding and Applied Biotechnology*, 13(2), 152-156.

Plaisted, R. L., & Peterson, L. C. (1959). A technique for evaluating the ability of selections to yield consistently in different locations or seasons. *American Potato Journal*, 36(11), 381-385.

Rotili, P., Busbice, T. H., & Demarly, Y. (1996). Breeding and variety constitution in alfalfa: present and future. *Grassland and Land Use Systems*, 163-180.

Rotili, P., Gnocchi, G., Scotti, C., & Zannone, L. (1999). Some aspects of breeding methodology in alfalfa. In *Proc. of The Alfalfa Genome Conference, Madison, USA.*

- Sabaghnia, N., Karimizadeh, R., & Mohammadi, M.** (2015). Graphic analysis of yield stability in new improved lentil (*Lens culinaris* Medik.) genotypes using nonparametric statistics. *Acta Agriculturae Slovenica*, 103(1), 113-127.
- Tai, G. C. C.** (1979). Analysis of genotype-environment interactions of potato yield. *Crop Science*, 19(4), 434-438.
- Vasileva, V., & Kostov, O.** (2015a). Effect of mineral and organic fertilization on alfalfa forage and soil fertility. *Emirates Journal of Food and Agriculture*, 678-686.
- Vasileva, V., & Kostov, O.** (2015b). Effect of mineral and organic fertilization of alfalfa on some seed yield characteristics, root biomass accumulation and soil humus content. *Acta Agriculturae Serbica*, 20(39), 51-65.
- Veronesi, F., Brummer, E. C., & Huyghe, C.** (2010). Alfalfa. In *Fodder crops and amenity grasses* (pp. 395-437). Springer, New York, NY.
- Veronesi, F., Huyghe, C. & Delgado, I.** (2006). Lucerne breeding in Europe: results and research strategies for future developments. *Grassland Science in Europe*, Vol. 11, 232-242.
- Wricke, G.** (1965). Zur berechnung der okovalenz bei sommerweizen und hafer. *Zeitschrift für Pflanzenzuchtung*, 52(2), 127-138.
- Yan, W.** (2002). Singular-value partitioning in biplot analysis of multienvironment trial data. *Agronomy Journal*, 94(5), 990-996.
- Yan, W.** (2016). Analysis and handling of G×E in a practical breeding program. *Crop Science*, 56(5), 2106-2118.
- Yan, W., Kang, M. S., Ma, B., Woods, S., & Cornelius, P. L.** (2007). GGE biplot vs. AMMI analysis of genotype-by-environment data. *Crop Science*, 47(2), 643-653.
- Yuegao, H., Cash, D., Kechang, L., Suqin, W., Ping, Z., & Rong, G.** (2009). Global status and development trends of alfalfa. In *Alfalfa management guide for Ningxia* (pp. 1-14), FAO.