

УДК 633.32

## ВЛИЯНИЕ ДОЗЫ КОМПЛЕКСНОГО УДОБРЕНИЯ НА СТАБИЛЬНОСТЬ РАЗВИТИЯ КЛЕВЕРА ЛУГОВОГО (*TRIFOLIUM PRATENSE*)

<sup>1</sup>Бибик Т.С., <sup>1</sup>Щукин И.М., <sup>2</sup>Баранов С.Г.

<sup>1</sup>ФГБ НУ «Владимирский научно-исследовательский институт сельского хозяйства, п. Новый, e-mail: tabibik@yandex.ru;

<sup>2</sup>ФГБОУ ВПО «Владимирский государственный университет им. А.Г. и Н.Г. Столетовых», Владимир, e-mail: bar.serg58@gmail.com

Было проведено изучение влияния двух доз комплексного удобрения на стабильность развития клевера лугового в условиях серой лесной среднесуглинистой почвы (г. Суздаль, Владимирская область). Стабильность развития оценивалась с помощью флуктуирующей асимметрии (ФА) пяти признаков по нормирующей формуле. Наиболее удобными билатерально-симметричными признаками для определения ФА являлись следующие: длина хорды на среднем листочке; длина супротивных боковых листочков; ширина супротивных боковых листочков; длина хорды на каждом из боковых листочков и ширина хорды на каждом из боковых листочков. Величина эксцесса разности величин признаков была не менее – 0,9, что говорило об отсутствии антисимметрии. Парный t тест не показал присутствия направленной асимметрии ( $H_0$ ;  $p > 0,05$ ). Внесение удобрения с формулой  $N_{30}P_{30}K_{30}$  вызывало наименьшее отклонение в стабильности развития по сравнению с контролем. Растения, выращенные в контроле и при двукратно повышенной дозе удобрения ( $N_{60}P_{60}K_{60}$ ), показали повышенную величину флуктуирующей асимметрии ( $p < 0,05$ ), что соответствовало пониженному уровню стабильности развития. Следовательно, внесение умеренных доз нитроаммофоски на почвах Ополя является предпочтительным для стабильного развития клевера лугового. Увеличение зеленой массы клевера сопровождалось резким снижением содержания азота ( $NO_3$ ) в почве с понижением стабильности развития, что свидетельствовало о разбалансировке внутренних механизмов гомеостаза. Отмечается, что метод нормирующей разности был наиболее удобным для определения величины ФА по сравнению с методом геометрической морфометрии. Метод определения ФА с помощью дисперсии разности величин признаков был также неудобен из-за высокого отклонения этой разности от нормального распределения.

**Ключевые слова:** стабильность развития, флуктуирующая асимметрия, клевер луговой

## EFFECT OF MINERAL FERTILIZER ON RED CLOVER DEVELOPMENTAL STABILITY

<sup>1</sup>Bibik T.S., <sup>1</sup>Schukin I.M., <sup>2</sup>Baranov S.G.

<sup>1</sup>Vladimir Scientific Research Institute of Agriculture, Novyi, e-mail: tabibik@yandex.ru;

<sup>2</sup>Vladimir State University (VLSU), Vladimir, e-mail: bar.serg58@gmail.com

It was studied the effect of 2 doses of complex fertilizers NPK on the stability of a clover meadow under gray forest soils (Suздal, Vladimir region). Developmental stability was evaluated by the fluctuating asymmetry (FA) of the five traits at normalizing formula. The most convenient bilaterally symmetric features for determining FA were the following: the length of the chord on the middle leaf; the length of opposite lateral leaves; the width of opposite side leaves; the length of the chord on each of the side leaves and the width of the chord on each of the side leaves. The magnitude of the kurtosis of the difference in the sign values was not less than – 0,9, which indicated the absence of antisymmetry. The paired t test did not show the presence of directional asymmetry ( $H_0$ ;  $p > 0,05$ ). Adding fertilizer with formula  $N_{30}P_{30}K_{30}$  caused the smallest deviation in the developmental stability in comparison with the control. Plants grown in the control and in the twice increased dose of fertilizer ( $N_{60}P_{60}K_{60}$ ) showed increased value of fluctuating asymmetry ( $p < 0,05$ ), which corresponded to a reduced level of stability. Therefore, the introduction of middle doses of NPK in soils Opolye is preferred. The increase in the green mass of clover was combined with a decrease in the stability of development, which indicated the imbalance of the internal mechanisms of homeostasis. It is noted that the normalizing difference was the most convenient method in the testing FA over the method of geometric morphometry. The method of determining FA by means of variance in the difference of the characteristic values was also inconvenient because of the high deviation from the normal distribution.

**Keywords:** developmental stability, fluctuating asymmetry, red clover

Клевер луговой (*Trifolium pratense*) – важное сельскохозяйственное растение, используемое в севообороте. Клевер способствует накоплению азота в почве и используется как кормовая культура. В последние годы во всех объектах Российской Федерации урожайность сена клевера красного снизилась в связи с резким дефицитом минеральных удобрений. В то же время практика показывает, что при соблюдении агротехники возделывания урожайность

не только не снижается, но и повышается. Культивирование клевера представляет собой многосторонний процесс, в котором необходимо учитывать популяционные характеристики этого растения.

Стабильность развития – онтогенетическая характеристика популяционного сообщества, определяемая по уровню флуктуирующей асимметрии (ФА) парных билатерально симметричных признаков. Шкала нестабильности, составлен-

ная на основе индексов ФА, показывает в баллах степень неблагоприятия среды. Продолжают совершенствоваться как методы оценки величины ФА, так и шкально-балльная оценка уровня стабильности развития. Одновременно ведутся работы по оценке действия факторов, влияющих на стабильность развития [3]. В исследованиях, проводимых по определению ФА клевера разных видов, были получены данные о его биоиндикаторных свойствах, генетических особенностях [8] и влиянию различных факторов на стабильность развития [1, 2, 4, 6, 7].

Целью настоящей работы было изучение влияния дозы минеральных удобрений на уровень ФА листовых пластин клевера лугового (сорт Марс).

### Материалы и методы исследования

Растения клевера сорта Марс характеризуются зимостойкостью и раннеспелостью. Растения тетраплоидны с максимальной урожайностью сухого вещества 12 т/га, семян – 500 кг/га. Содержание сырого протеина в сухом веществе 17,0–19,0%, клетчатки – 25,0–27,0%. Куст прямостоячий, с количеством междоузлий около семи. Высота стеблей в первом укосе достигает 80–100 см. Облиственность первого укоса составляет 48–60%, второго – 58–82%.

Благодаря высокому потенциалу кормовой продуктивности, высокой конкурентной способности этот сорт обеспечивает высокое производство разных видов зеленых и сухих кормов при сенокосном и пастбищном использовании, т.к. это хороший предшественник для зерновых культур.

Работа выполнялась в период вегетационной активности растений 2016 г. на стационарном опыте Владимирского научно-исследовательского института сельского хозяйства (г. Суздаль) на серой лесной слабокислой среднесуглинистой почве ( $pH = 5,3$ ) в 2-х кратной повторности при использовании 3-х уровней интенсификации, которые создавались за счет расчетных доз удобрений: контроль (экстенсивный) – без удобрений; поддерживающий –  $N_{30}P_{30}K_{30}$  (187,5 кг/га) нормальный –  $N_{60}P_{60}K_{60}$  (375 кг/га) на традиционной отвальной обработке почвы (лучение стерни + подъем зяби – вспашка на глубину 20–22 см). В качестве удобрения использовалась нитроаммофоска –  $NPK16:16:16$ . Предшественник – ячмень. В опытах применялась агротехника, рекомендованная для зоны Владимирского ополья.

Урожайность учитывали парцеллярным способом, используя рамку площадью 1 м<sup>2</sup>; отбор снопов с парцелл выполняли по регулярной сетке на всех уровнях интенсификации.

Фенологические наблюдения за ростом и развитием растений проводили по Доспехову (1968); содержание нитратного азота – потенциометрическим методом с помощью ион-селективного электрода; подвижного фосфора – по Кирсанову; обменного калия – по Масловой; статистическая обработка выполнялась по программе STATISTICA 6,0, Surfer 7,0.

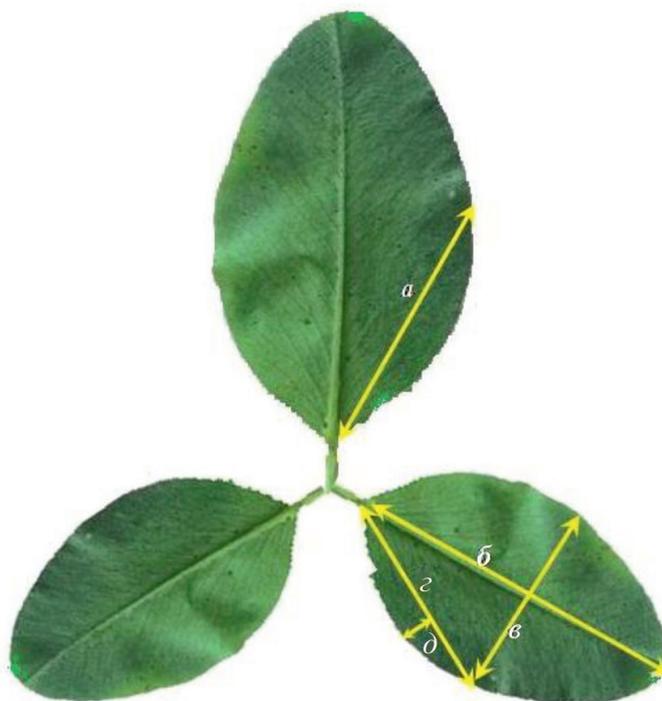


Рис. 1. Признаки для определения ФА (по В.М. Захарову, 2000): а) длина хорды на среднем листочке; б) длина супротивных боковых листочков; в) ширина супротивных боковых листочков; г) длина хорды на каждом из боковых листочков; д) ширина хорды на каждом из боковых листочков

Для определения ФА использовались 9 парных билатерально симметричных признаков (Захаров, 2000). Однако не все признаки были удобны. Некоторые, такие как, число и характер ветвления жилок второго порядка (признаки № 1–4) были явно не удобны: слишком малы для измерения мерной линейкой или программными средствами, в отличие от признаков с 5-го по 9-ый. Было использовано от 20 до 25 растений, с каждого – от 3-х до 5-ти листовых пластин, ближайших к цветку. Было проведено всего 1500 измерений 5–9-го признаков (рис. 1).

Определение величины ФА проводилось по формуле нормирующей разности  $FA = |П-Л|/(П + Л)$ , где П и Л соответственно величина правого и левого гомологичных признаков (Palmer, 1998; Захаров, 1996, 2000). Альтернативной формулой для определения ФА являлась формула для дисперсии разности величин (П–Л).

Для измерения использовалась миллиметровая линейка (ГОСТ427-75). Ошибка измерения, полученная после трехкратного измерения случайно выбранного признака, не превышала 10% величины измеряемого признака. Все вычисления, статистические анализы и характеристики выборок (П–Л) проводились в программе MSExcel 2007.

### Результаты исследования и их обсуждение

Величина эксцесса распределения (П–Л) ни в одном из признаков не показала значения ниже – 2, что указывало на отсутствие антисимметрии, хотя отклонение от нормального распределения имело место, например, в выборках с величиной эксцесса выше двух (таблица).

Величина ФА и эксцесса выборок (П–Л)

№ п/п	Образец	ФА	Эксцесс, $\gamma$ (П–Л) в признаках а-е					
			а	б	в	г	д	
1	$N_{30}P_{30}K_{30}$	$0,043 \pm 0,01$	4,0	1,3	– 0,9	– 0,1	4,0	$0,143 \pm 0,060$
2	$N_{60}P_{60}K_{60}$	$0,195 \pm 0,06$	4,0	0,7	1,4	3,9	– 0,4	$0,594 \pm 0,03$
3	контроль	$0,131 \pm 0,03$	2,4	1,0	0,7	0,2	1,8	$0,255 \pm 0,07$

Примечание.

$$\sigma_d^2 = \frac{\sum (d_{l-r} - M_d)^2}{n - 1},$$

где

$$M_d = \frac{\sum d_{l-r}}{n}; \quad d_{l-r} = \frac{2(d_l - d_r)}{d_l + d_r};$$

$d_l$  – значение признака на левой стороне;

$d_r$  – значение признака на правой стороне;

$M_d$  – среднее различие между сторонами;

$n$  – число промеров (численность выборки);

$\sigma_d^2$  – дисперсия различий между сторонами относительно среднего различия.

Альтернативная формула определения ФА с помощью дисперсии ( $\sigma_d^2$ ) величин П и Л была неудобна из-за высокого отклонения дисперсии от нормального распределения (тест Колмогорова,  $p < 0,05$ ).

Метод геометрической морфометрии был также неудобен из-за формы листовой пластины без выраженных изгибов, лопастей или четко обозначенных билатерально-симметричных жилок.

Во всех выборках не было получено данных, указывающих на присутствие направленной асимметрии, т.к. парный t-тест ( $H_0: П = Л$ ) показал уровень вероятности  $p$  ошибки альтернативной гипотезы бо-

лее 0,05. Не было получено корреляции между величиной ФА и величиной признака ( $r = - 0,4$ ;  $p > 0,05$ ).

Доза № 1 вызывала наименьшее отклонение в стабильности развития (ФА =  $0,043 \pm 0,01$ ) по сравнению с контролем и дозой № 2 ( $p < 0,05$ ). Доза № 2 значительно превышала величину ФА в контроле ( $0,195 \pm 0,06$  и  $0,131 \pm 0,03$ , рис. 2,  $p > 0,05$ ).

### Выводы

Многолетнее использование почв приводит к снижению минеральных веществ, что приводит к стрессовому состоянию

и отклонению в стабильности развития. Причиной снижения стабильности развития при высоких дозах НАФК может быть переход клубеньковых бактерий на питание минеральными формами азота, в результате чего тормозится процесс азотификации [5]. Известно также, что повышенные дозы азотных удобрений ослабляют накопление в травянистых растениях кальция

и магния, нарушая оптимальное соотношение этих минералов. Наконец третьей причиной отклонения от билатеральной симметрии может служить накопление нитратного азота и мочевины. Все три фактора могут совместно служить стрессом, вызывающим ингибирование ферментов, контролирующих процессы онтогенетического формирования билатеральных структур.

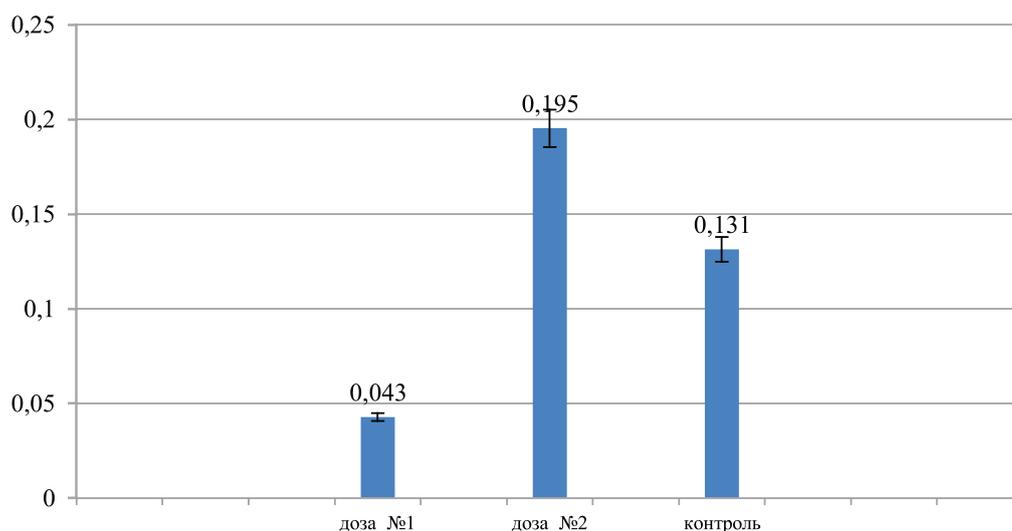


Рис. 2. Величина ФА в зависимости от вносимой дозы НАФК (доза №1 –  $N_{30}P_{30}K_{30}$ , доза №2 –  $N_{60}P_{60}K_{60}$ ); планки погрешностей взяты с относительными ошибками с использованием 5%-ных значений

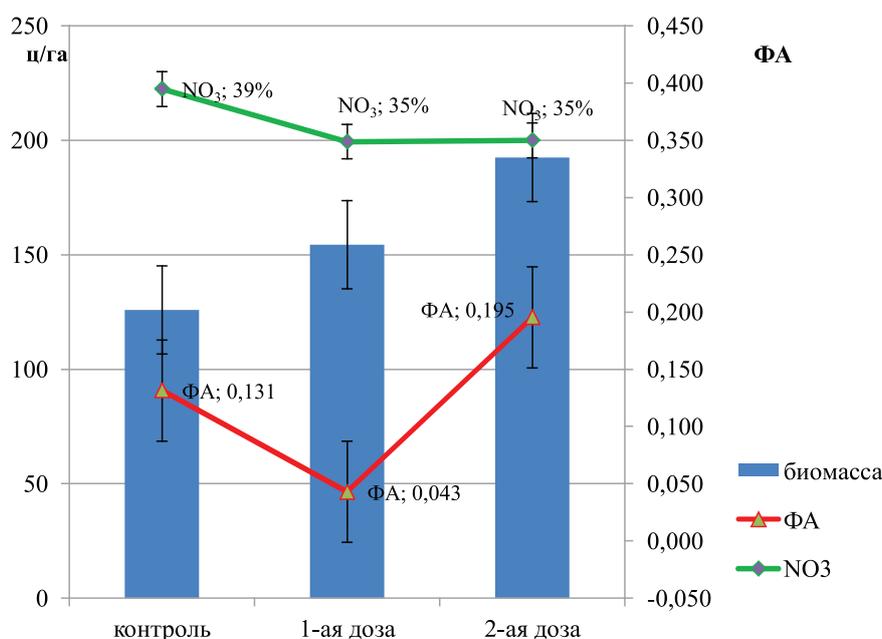


Рис. 3. Урожайность зеленой массы, уровень ФА и содержание азота NO<sub>3</sub> (планки погрешностей со стандартными ошибками)

Изучение урожая зеленой массы показало, что после внесения повышенной дозы удобрений вес зеленой массы и, соответственно, укосного сена был выше (154,5 при внесении дозы № 1 и 192 ц/га после внесения дозы № 2), что было выше по сравнению с контролем (126 ц/га).

Вместе с тем, при использовании доз № 2–3 падение содержания оксида азота ( $\text{NO}_3$ ) в почве было существенным, почти в три раза (до 35% от содержания азота в почве во время посева, рис. 3).

Снижение содержания калия и фосфора в почве после сбора урожая было не столь значительным и при обеих дозах составляло 74–75% ( $\text{P}_2\text{O}_5$ ) и 89–90% ( $\text{K}_2\text{O}$ ) от содержания в контроле.

Таким образом, искусственное увеличение объема круговорота азота при использовании двухкратной дозы ( $\text{N}_{60}\text{P}_{60}\text{K}_{60}$ ) могло вызывать снижение стабильности развития за счет ингибирования функции азотфиксирующих бактерий, являющихся важной частью физиологии и метаболизма бобовых растений.

Проведенное исследование позволяет сделать вывод о благоприятном влиянии умеренной дозы № 1 ( $\text{N}_{30}\text{P}_{30}\text{K}_{30}$ ) на стабильность развития клевера лугового. Повышенная доза (№ 2,  $\text{N}_{60}\text{P}_{60}\text{K}_{60}$ ) показала снижение стабильности развития по сравнению с контролем, что подтверждает предпочтительность умеренного внесения комплексных, в том числе азотсодержащих удобрений. Увеличение зеленой массы клевера сопровождалось резким снижением содержания азота ( $\text{NO}_3$ ) в почве

с понижением стабильности развития, что говорило о разбалансировке внутренних механизмов гомеостаза. Сказанное следует отнести к условиям серых лесных почв Суздальского Ополя с описанными условиями севооборота.

### Список литературы

1. Александрова Т.В., Нахаева В.И. Экологическая оценка округов города Омска и их рекреационных зон с помощью растительных тест-объектов (*Betula pendula* Roth, *Trifolium repens* L.) // Успехи современного естествознания. – 2015. – № 1–4. – С. 606–610.
2. Горшкова Т.А. Оценка возможности использования клевера ползучего (*Trifolium repens* L.) для биоиндикации антропогенного нарушения среды // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2012. – Т. 14. – № 1–1. – С. 69–73.
3. Захаров В.М. и др. Здоровье среды: методика оценки. – М.: Центр экологической политики России, 2000. – Т. 65. – 68 с.
4. Левицкий С.Н. Генетический полиморфизм в популяциях *Trifolium repens*, произрастающих в условиях различной антропогенной нагрузки территорий // Фундаментальные исследования. – 2013. – № 4–1. – С. 108–111.
5. Окорков В.В., Фенова О.А., Окоркова Л.А. Влияние удобрений на урожай сена многолетних бобово-злаковых трав и пищевой режим серых лесных почв ополя // Инновационные технологии возделывания сельскохозяйственных культур в Нечерноземье Сборник докладов Всероссийской научно-практической конференции, посвященной 75-летию образования Владимирского НИИСХ Россельхозакадемии. Владимирский НИИСХ. – 2013. – С. 304–312.
6. Светлакова Т.Н., Мандрица С.А., Боронникова С.В., Суслонов А.В. Оценка изменчивости морфологических признаков *Trifolium pratense* L. в условиях нефтяного загрязнения почв // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В.И. Вернадского. – 2010. – № 1–3. – С. 16–22.
7. Соколова Г.Г., Камалтдинова Г.Т. Флуктуирующая асимметрия листовой пластинки клевера ползучего при оценке стабильности развития // Известия Алтайского государственного университета. – 2011. – № 3–1. – С. 40–43.
8. Шарыгина Н.В. Сравнительная характеристика внутри межпопуляционной изменчивости по признаку «Седого» пятна на листьях растений *Trifolium repens* в популяциях на территории г. Архангельска // Вестник Северного (Арктического) федерального университета. Серия: Естественные науки. – 2011. – № 1. – С. 102–107.