

ДИНАМИКА НАКОПЛЕНИЯ И ПЕРЕРАСПРЕДЕЛЕНИЯ АЛКАЛОИДОВ У ЛЮПИНА УЗКОЛИСТНОГО

Л. В. Трошина

Т. В. Яговенко, кандидат биологических наук

*ВНИИ люпина – филиал ФНЦ «ВИК им. В. Р. Вильямса»,
пос. Мичуринский Брянского района Брянской области, Россия, lupin_mail@mail.ru*

DOI 10.33814/МАК-2019-21-69-26-31

Прослежены особенности накопления и перераспределения алкалоидов в прорастающем семени люпина узколистного, а также характер динамики количества алкалоидов в растениях узколистного люпина трех генотипов в процессе онтогенеза. Показаны особенности накопления данных соединений в разных условиях. Наиболее восприимчивым к изменению температурного режима вегетации у люпина узколистного являлся период «начало бобообразования — созревание».

Ключевые слова: алкалоиды, люпин узколистный, генотип, температура.

Кормовая ценность люпина, обусловленная высоким содержанием в нем белка и жира, снижается из-за присутствия в растениях этой культуры алкалоидов — азотистых веществ основного характера, оказывающих токсическое действие на живой организм. В связи с расширением посевов люпина и использованием его на кормовые цели на этот признак следует обратить большое внимание, так как его содержание в растениях и семенах у разных генотипов может изменяться в 2–6 раз в зависимости от условий произрастания [1; 2]. Учитывая большую чувствительность люпина к изменению условий выращивания, а именно к наличию влаги, высоких температур, и влияние их на стабильность признака «алкалоидность», целью исследований являлось изучение характера динамики изменения содержания алкалоидов в прорастающем семени люпина и в растениях на разных стадиях онтогенеза, определение особенностей накопления этих веществ у изучаемых генотипов в разных условиях вегетации.

Материалы и методы. Материалом исследований служили сорта узколистного люпина, различающиеся по уровню содержания алкалоидов в семенах, проявившие различную степень развития признака в разные годы выращивания: Радужный (от 0,035 до 0,047 %), Кристалл (от 0,055 до 0,100 %), Брянский 1121 (от 0,100 до 0,200 %), оригинатором которых является ФНЦ «ВИК им. В. Р. Вильямса».

В лабораторных условиях была прослежена алкалоидность прорастающих семян. Проростки выращивали в рулонах, на стеллаже при

16-часовом освещении и температуре 24 °С. В полевых условиях у трех генотипов люпина изучалось влияние температуры воздуха и его влажности на проявление признака «алкалоидность». Повышенные температуры создавались путем помещения части растений в пленочную теплицу.

В течение вегетационного периода в теплице и на открытом пространстве проводились замеры температуры и влажности воздуха. Контроль содержания алкалоидов осуществлялся на всех этапах онтогенеза по методике Ф. К. Терехова, в модификации ВНИИ люпина [3], для анализа использовались семена, проростки, целые растения.

Результаты исследований. Анализ результатов показал (табл. 1), что на самых ранних этапах прорастания семян (набухшие семена, второй день проращивания) происходил распад уже накопившихся в ходе созревания семян алкалоидов и содержание последних уменьшалось: у сорта Кристалл в 1,80, у сорта Радужный в 1,94 раза.

1. Изменение алкалоидности семян люпина узколистного в процессе прорастания

Фаза развития		Содержание алкалоидов, % на сухое вещество	
		Сорта	
		Кристалл	Радужный
Исходные семена		0,068	0,045
Набухшие семена	нативные семена	0,047	0,035
	семядоли без оболочки	0,070	0,049
	зародыши	0,073	0,052
1-й день проращивания	нативные семена	0,035	0,020
	семядоли без оболочки	0,040	0,030
	зародыши	0,081	0,052
2-й день проращивания	нативные семена	0,026	0,018
	семядоли без оболочки	0,039	0,024
	зародыши	0,086	0,056
3-й день проращивания	позеленевшие семядоли (рост гипокотилия)	0,078	0,056
6-й день проращивания	проросток	0,068	0,052

У обоих сортов в набухших семядолях без оболочки концентрация алкалоидов была выше, чем в нативных набухших семенах (семядоли с оболочкой). В процессе прорастания содержание алкалоидов в семядолях без оболочки снижалось, и на вторые сутки проращивания этот показатель у сорта Кристалл снижался в 1,79 раза, у сорта Радужный — в 2,04 раза. Отмечено перераспределение веществ данного класса, а именно: на фоне уменьшения содержания алкалоидов в семядолях на-

блюдалось увеличение их количества в зародышах, у сорта Кристалл с 0,073 до 0,086 %, у сорта Радужный с 0,052 до 0,058 %. На третий день проращивания наблюдалось позеленение семядолей (без оболочки) проростков и заметный прирост корешка зародыша.

Алкалоидность в семядолях в этот период возрастала как у сорта Кристалл (с 0,039 до 0,078 %), так и у сорта Радужный (с 0,024 до 0,056 %). Очевидно, этот рост был результатом синтеза алкалоидов *de novo*. Этот факт согласуется с данными о том, что биосинтез хинолизиновых алкалоидов локализуется в хлоропластах клеток листьев и стеблей люпина [4]. К шестому дню развития проростка изучаемый показатель снижался; вероятно, за счет роста биомассы и вовлечения алкалоидов в процессы метаболизма.

Таким образом, при прорастании семени происходила мобилизация не только питательных веществ, сосредоточенных в семени, но и алкалоидов. Одновременно с этим имел место и синтез *de novo* соединений данного класса.

Исследования онтогенетических особенностей накопления алкалоидов и влияние температуры на их количественное содержание проводили в полевых условиях и условиях теплицы. Прослежена динамика количественного содержания алкалоидов в растениях трех генотипов люпина узколистного (табл. 2), которая свидетельствовала о том, что по мере развития растений содержание алкалоидов в них непрерывно изменяется. Причем тенденция изменения у изучаемых сортов (Кристалл, Радужный, Брянский 1121) одинаковая.

2. Динамика накопления алкалоидов растениями люпина узколистного

Сорт	Фаза развития растения								
	раскрытие семядолей	вторая пара настоящих листьев	бутонизация	начало цветения	конец цветения	начало образования бобов	блестящий боб	созревающие растения	семена к уборке
	Содержание алкалоидов (% на сухое вещество, по спартеину)								
Естественные условия									
Радужный	0,047	0,026	0,015	0,025	0,034	0,037	0,038	0,040	0,042
Кристалл	0,065	0,030	0,018	0,030	0,039	0,042	0,049	0,053	0,058
Брянский 1121	0,107	0,070	0,050	0,056	0,069	0,078	0,092	0,097	0,110
Тепличные условия									
Радужный	0,047	0,027	0,025	0,030	0,037	0,040	0,041	0,044	0,048
Кристалл	0,065	0,035	0,030	0,035	0,043	0,046	0,056	0,068	0,092
Брянский 1121	0,107	0,093	0,065	0,068	0,075	0,080	0,098	0,108	0,234

С периода раскрытия семядолей алкалоидность уменьшалась. Практически у всех изучаемых генотипов снижение данного показателя длилось до фазы бутонизации. Вероятно, уменьшение данного признака можно объяснить превращением алкалоидов в другие азотистые вещества. Это подтверждает гипотезу, что алкалоиды не конечный продукт метаболизма, а участник биохимических реакций в растительной клетке [4].

С началом цветения их количество в целом растении увеличивалось и достигало максимальной величины в фазе «созревающие семена». К моменту уборки в семенах содержание алкалоидов было выше, чем в целом растении.

Условия вегетации в годы исследований (2003, 2005) не вызвали существенных изменений в накоплении семенами узколистного люпина алкалоидов. Так, семена сортов Кристалл и Радужный, использованные для посева, имели алкалоидность 0,065 и 0,047 %, а их новая генерация, полученная в естественных условиях, — 0,058 и 0,042 % соответственно. У генотипа Брянский 1121 увеличение данного показателя практически отсутствовало (0,107 и 0,110 %).

Растения, помещенные в тепличные условия, испытывали влияние более высокой температуры и более низкой относительной влажности воздуха.

Сумма положительных температур в теплице в среднем за вегетацию была на 174,8 °С выше, чем на открытом пространстве, а влажность — ниже на 20 %. Несмотря на это, растения в теплице в периоды роста чувствовали себя более комфортно и даже опережали контрольные (естественные условия) по содержанию сухого вещества (табл. 3). Так, к фазе бутонизации растения изучаемых сортов в условиях теплицы накапливали сухого вещества в среднем в 1,7 раза больше, чем в естественных условиях. Эта тенденция сохранялась и к уборке. Сухая масса тепличных растений была больше, несмотря на это эффект биологического разбавления не проявился, и содержание алкалоидов у сортов, растущих в теплице, по всем изучаемым фазам онтогенеза было выше, чем в обычных условиях вегетации. В конечном итоге это отразилось на повышении алкалоидности семян: у сорта Кристалл в среднем в 1,5 раза (с 0,065 до 0,092 %), у сорта Брянский 1121 — в 2,2 раза (с 0,107 до 0,234 %). У сорта Радужный признак «алкалоидность» как в естественных условиях, так и в условиях теплицы был более стабилен.

Следует отметить, что коэффициенты варьирования изучаемого признака у сортов Радужный, Кристалл, Брянский 1121 в тепличных условиях были выше, чем в естественных условиях и составляли соответственно 18,5, 39,4, 46,7 % против 12,8, 32,4, 30,7 %. Эти данные свидетельствуют о том, что наибольшая изменчивость признака «алкалоид-

ность» в естественных условиях, а также в условиях теплицы была характерна для сорта Брянский 1121.

3. Накопление сухого вещества растениями люпина узколистного в разных условиях

Сорт	Фаза развития растения								
	Раскрытие семядолей	первая пара настоящих листьев	вторая пара настоящих листьев	Бутонизация	Начало цветения	Конец цветения	Начало обра- зования бобов	Сизый боб	Блестящий боб
	Сухое вещество, г/растение								
Естественные условия									
Радужный	0,190	0,226	0,284	4,58	5,13	5,56	9,13	10,50	17,8
Кристалл	0,194	0,230	0,306	4,85	5,35	5,66	9,34	12,18	17,9
Брянский 1121	0,186	0,236	0,334	5,76	6,40	6,88	10,03	12,08	19,5
Тепличные условия									
Радужный	0,205	0,257	0,360	7,85	7,96	9,10	11,67	18,90	20,5
Кристалл	0,200	0,272	0,330	8,18	8,52	9,96	11,85	19,15	24,2
Брянский 1121	0,190	0,264	0,384	9,82	9,90	11,46	13,05	20,96	29,5

Вероятно, генотипы (Радужный и Кристалл) обладают более сильным генетическим контролем признака «алкалоидность» и менее подвержены влиянию повышенной температуры воздуха.

Корреляционный анализ полученных данных позволил определить период, когда растение узколистного люпина наиболее чувствительно к изменению температурного режима: «начало бобообразования — созревание». В это время отмечены наибольшие коэффициенты корреляции между содержанием алкалоидов в целом растении и температурой воздуха: у сорта Радужный $r = 0,83$, у сорта Кристалл $r = 0,60$, у сорта Брянский $r = 0,50$.

Заключение. Таким образом, исследования показали, что в процессе вегетации растений люпина количество алкалоидов в целом растении непрерывно изменялось. Изменения их содержания носили онтогенетический характер. В полевых условиях с периода раскрытия семядолей люпина до конца цветения алкалоидность растения уменьшалась. Уменьшение данного показателя, очевидно, связано с биологическим разбавлением, а также превращением алкалоидов в другие азотистые

вещества. Образование и развитие генеративных органов активизировали накопление алкалоидов в целом растении. Это согласуется с гипотезой о том, что алкалоиды не конечный продукт метаболизма, а участник биохимических реакций в клетке [4; 5].

Наиболее восприимчивым к изменению температурного режима вегетации у люпина узколистного являлся период «начало бобообразования — созревание».

Результаты исследований свидетельствуют о том, что признак «алкалоидность» из-за большой модификационной, а иногда и генетической, изменчивости требует постоянного контроля.

Литература

1. Романчук И. Ю., Анохина В. С. Алкалоиды люпина: строение, биосинтез, генетика // Молекулярная и прикладная генетика. – 2018. – Т. 25. – С. 108–122.
2. Анохина В. С., Цыбульская И. Ю. О возможности использования современных методических приемов анализа качественного состава комплекса алкалоидов люпина // Инновационные технологии в селекции и семеноводстве сельскохозяйственных культур : материалы Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 125-летию со дня рождения С. И. Жигалова. – Москва, 7–8 августа, 2006. – ВНИИССОК. – Т. 2. – С. 46–48.
3. Определение алкалоидов в люпине : методические рекомендации / А. И. Артюхов, Т. В. Яговенко, Е. И. Афонина, Л. В. Трошина. – Брянск, 2012. – 16 с.
4. Wink M. Chemical defense of *Leguminosae* // Z. Naturforsch. – 1984. – № 6. – Т. 39. – P. 548–552.
5. Трошина Л. В., Яговенко Т. В. Динамика накопления алкалоидов растениями люпина белого и действие на нее регуляторов роста // Инновационные разработки для развития отраслей сельского хозяйства региона : сб. науч. трудов по материалам науч.-практ. конф. с междунар. участием / ФГБНУ «Калужский НИИСХ». – Калуга, 2019. – С. 212–217.

DYNAMICS OF ALKALOID ACCUMULATION AND REDISTRIBUTION IN NARROW-LEAFED LUPIN

L. V. Troshina, T. V. Yagovenko

The article presents alkaloid accumulation and redistribution in germinative seed of narrow-leafed lupin as well as the dynamics of alkaloid content in three genotypes of narrow-leafed lupin plants during ontogenesis. Specialties of accumulation of these compounds under different conditions are shown. The stage “beginning of pod formation — maturing” is the most susceptible to temperature changes in vegetation of narrow-leafed lupin.

Keywords: *alkaloids, narrow-leafed lupin, genotype, temperature.*