

## РОЛЬ ФОСФАТНОГО СОСТОЯНИЯ ПОЧВЫ И УДОБРЕНИЙ В ФОРМИРОВАНИИ УРОЖАЙНОСТИ И КАЧЕСТВА ЗЕРНА ЛЮПИНА УЗКОЛИСТНОГО

**В.В. Дышко, Смоленская ГСХА, В.Н. Капранов, д.с.-х.н., Московский НИИСХ «Немчиновка»,  
В.Н. Дышко, д.с.-х.н., С.М. Вьюгин, д.с.-х.н., Смоленская ГСХА**

*Приведены результаты исследований эффективности фосфатного агрофона и минеральных удобрений при выращивании люпина узколистного сорта Дикаф 14 по зерновой технологии на дерново-подзолистой почве. Максимальные показатели основных элементов структуры урожайности и окупаемости азотно-калийных удобрений дополнительной продукцией получены на почве с высоким, а фосфорных – со средним содержанием подвижных фосфатов. Выявлена тесная зависимость между качеством зерна и взаимодействием изучаемых факторов.*

*Ключевые слова: фосфатный агрофон, минеральные удобрения, урожайность, структура урожая, окупаемость, люпин узколистный, сырой белок, аминокислоты.*

Содержание подвижного фосфора в почве – один из наиболее значимых показателей, определяющих ее плодородие, что в значительной степени сказывается на урожайности сельскохозяйственных культур, качестве продукции и экологическом состоянии агрофитоценозов. Недостаточность его приводит к нарушению природного равновесия элементного состава в почве, ухудшению энергетического баланса в агроэкосистеме и, в итоге, к снижению продуктивности земледелия.

При выращивании люпина узколистного важнейшей задачей является повышение эффективности минеральных удобрений, их окупаемости дополнительным урожаем. Обладая наивысшей азотфиксирующей способностью среди бобовых, он при благоприятных условиях может накапливать в почве 150–200 кг/га симбиотического азота [1]. Кроме того, корневая система данной культуры способствует мобилизации труднодоступных фосфатов и переводу их в усвояемые для растений формы [2].

Эффективность фосфорно-калийного удобрения при возделывании люпина зависит от соотношения этих элементов. При преобладании калия усиливается развитие листьев и репродуктивных органов, при равном соотношении лучше развивается вегетативная масса. При избытке фосфора по отношению к калию уменьшается масса растения и бобов. Оптимальное соотношение между фосфором и калием 1: 2 [3].

В зависимости от содержания в почве доступного фосфора и калия рекомендуется вносить: при содержании  $P_2O_5$  менее 150 мг/кг почвы – 50-60 кг д.в./га, от 151 до 200 – 40-50; от 201 до 300 – 30-40 и, если в почве содержится более 300 мг/кг подвижного фосфора, вносят 20-30 кг д.в./га. Обеспеченность калием менее 140 мг/кг почвы требует внесения 70-80 кг д.в./га, в пределах 141 – 200 – 60-70, от 201 до 300 – 50-60 и более 300 – 40-50 кг д.в./га [4].

Наиболее дискуссионный вопрос применения под люпин азотных удобрений. Как сторонники, так и противники внесения

минерального азота считают, что до начала активной деятельности клубеньковых бактерий люпину необходима небольшая стартовая доза азота [5, 6].

Важное значение в изучаемом вопросе придается условиям развития растений. Такие элементы структуры урожая, как количество бобов на одном растении, число семян в одном бобе, густота продуктивного стеблестоя во время уборки, масса 1000 зерен имеют огромное значение в реализации генетического потенциала сорта и по-разному реагируют на внешние условия. По изменению тех или иных элементов структуры урожая можно судить о том, в какой фазе развития и на какие физиологические процессы растений влияют применяемые приемы [7].

Цель исследований – изучить влияние фосфатного агрофона и минеральных удобрений на формирование структуры урожая и качество зерна люпина узколистного сорта Дикаф 14.

**Методика.** Исследования выполнены в 2012-2014 гг. в многофакторном полевом опыте на опытном поле Смоленской ГСХА на типичной для Центрального района Нечерноземной зоны дерново-среднеподзолистой легкосуглинистой почве на лессовидном суглинке. До закладки опыта она имела следующие агрохимические показатели: содержание органического вещества – 1,85 %;  $pH_{\text{кол}}$  5,2; гидролитическая кислотность – 2,87 ммоль/100 г; сумма поглощенных оснований – 5,1-7,4 ммоль/100 г, степень насыщенности основаниями – 64-72 %; степень подвижности фосфора – 0,035 мг/л; содержание подвижного калия – 112 мг/кг.

Эксперимент по содержанию в почве подвижного фосфора проводили на трех агрофонах: естественном (83-89 мг  $P_2O_5$ /кг) и двух искусственных (139-145; 194-207 мг  $P_2O_5$ /кг), которые были созданы путем заблаговременного внесения фосфоритной муки Полпинского месторождения в дозе 450 и 900 кг  $P_2O_5$  на 1 га севооборотной площади под предшествующую культуру – озимую тритикале (фактор А).

Повторность опыта – 4-кратная, площадь делянки – 5 м<sup>2</sup> (2 × 2,5). На каждый фосфатный агрофон накладывались варианты удобрений: контроль (без удобрений);  $N_{20}K_{90}$ ;  $N_{20}K_{90}P_{C45}$ ;  $N_{20}K_{90}P_{Ф45}$  (фактор В). Сульфат калия, аммонизированный простой суперфосфат и фосфоритную муку вносили под зяблевую вспашку, аммиачную селитру –

весной, под предпосевную культивацию.

Агротехника общепринятая для региона: дискование тяжелой бороной, зяблевая вспашка, ранневесенняя культивация – для сохранения влаги и выравнивания почвы, прикатывание. Для борьбы с однолетними двудольными злаковыми сорняками применяли довсходовый гербицид системного почвенного действия – прометрин (25 %-ный к.с.) нормой 1 л/га.

Уборку проводили комбайном, предназначенным для мелкочесных опытов - TERRION SR-2010.

В исходных почвенных образцах пахотного горизонта определяли: гумус по Тюрину (ГОСТ 26213-91) в модификации ЦИНАО, рН солевой вытяжки потенциометрически (ГОСТ 26483-85); гидролитическую кислотность (ГОСТ 26212-91) и сумму поглощенных оснований по Каппену (ГОСТ 27821-88), подвижные фосфор и калий по Кирсанову (ГОСТ 26204-91), степень подвижности фосфатов по Скофилду.

В растительной продукции содержание общего азота устанавливали колориметрическим методом с реактивом Несслера, фосфора – с применением аскорбиновой кислоты (по Мерфи и Райли), калия – по Масловой и Чернышевой на пламенном фотометре; сырой белок в зерне – расчетным способом с использованием белкового коэффициента 6,25. Статистическую обработку данных проводили методами дисперсионного и корреляционно-регрессионного анализа по Доспехову [8].

**Результаты и их обсуждение.** В годы исследований на урожайность, структуру урожая и качество зерна люпина узколистного сорта Дикаф 14 оказывали влияние погодные условия и уровень удобрённости культуры на разных фонах по обеспеченности подвижным фосфором.

Температурный режим вегетационного периода 2012 г. был близок к среднесезонным показателям, а осадков выпало на 21% больше нормы. 2013 г. характеризовался повышенной температурой воздуха и близкой к климатической норме суммой осадков, а 2014 г. по условиям тепло- и влагообеспеченности был удовлетворительным для роста и развития растений.

В неудобренных вариантах урожайность составила 1,5-2,1 т/га, с внесением азотно-калийных удобрений – 1,6-2,4, при полном минеральном удобрении – 2,0-2,5 т/га (табл. 1).

**1. Урожайность зерна на контроле и прибавка от удобрений, т/га**

Вариант опыта (фактор В)	2012 г.	2013 г.	2014 г.	Среднее
<i>Содержание P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> в почве – 83-89 мг/кг (фактор А)</i>				
Контроль	1,49	1,57	1,69	1,58
N <sub>20</sub> K <sub>90</sub>	0,13	0,23	0,15	0,17
N <sub>20</sub> K <sub>90</sub> PС <sub>45</sub>	0,58	0,58	0,41	0,53

N <sub>20</sub> K <sub>90</sub> PФ <sub>45</sub>	0,54	0,52	0,45	0,51
<i>Содержание P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> в почве – 139-145 мг/кг (фактор А)</i>				
Контроль	1,78	1,84	1,90	1,84
N <sub>20</sub> K <sub>90</sub>	0,21	0,31	0,28	0,27
N <sub>20</sub> K <sub>90</sub> PС <sub>45</sub>	0,44	0,48	0,40	0,44
N <sub>20</sub> K <sub>90</sub> PФ <sub>45</sub>	0,30	0,45	0,35	0,37
<i>Содержание P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> в почве – 194-207 мг/кг (фактор А)</i>				
Контроль	1,93	2,11	1,95	2,00
N <sub>20</sub> K <sub>90</sub>	0,34	0,31	0,25	0,30
N <sub>20</sub> K <sub>90</sub> PС <sub>45</sub>	0,39	0,35	0,28	0,34
N <sub>20</sub> K <sub>90</sub> PФ <sub>45</sub>	0,37	0,31	0,23	0,30
HCP <sub>05</sub> :по фактору А	0,13	0,16	0,15	

по факторам В и АВ 0,10 0,12 0,11

О существенности влияния фосфатного состояния почвы на формирование урожая зерна можно судить по данным, полученным на контроле. В среднем за 3 года на фоне с содержанием P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> в почве 83-89 мг/кг урожайность равнялась 1,58 т/га. С повышением обеспеченности почвы подвижным фосфором сбор зерна увеличился на 0,26-0,42 т/га (16-27 %).

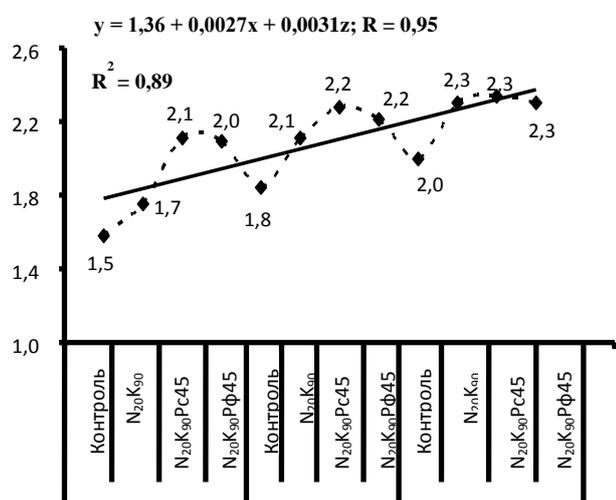
На всех изучаемых фосфатных агрофонах отмечено повышение урожайности люпина от применения азотно-калийных удобрений (N<sub>20</sub>K<sub>90</sub>). На естественном агрофоне рост урожайности составил 11 %, на искусственно созданных – 14-15 % к контролю. В этом варианте на почве с повышенным содержанием подвижного фосфора с внесением НК-удобрений урожай зерна увеличился на 0,35 т/га (20 %), а с высоким содержанием – на 0,54 т/га (30 %) к естественному агрофону.

С применением полного минерального удобрения рост урожайности продолжился. Однако с повышением обеспеченности почвы подвижными фосфатами прибавки урожая зерна снижались. Если на фоне со средним содержанием P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (естественный) дополнительный сбор зерна составил 0,5 т/га к контролю, то при высоком его содержании – 0,3 т/га. Эффективность совместного применения суперфосфата в дозе PС<sub>45</sub> с азотно-калийными удобрениями на искусственных фонах была выше на 8-11 %, а фосфоритной муки в такой же дозе – на 6-10 %, чем на естественном фоне, т.е. разница в урожайности между изучаемыми формами фосфорных удобрений была незначительной. Тем не менее, эффективность фосфоритной муки по отношению к суперфосфату равнялась 99 %.

Статистический анализ, выполненный методами множественной корреляции и регрессии, выявил тесноту зависимости между урожайностью и взаимодействием двух факторов – внесением удобрений и обеспеченностью почвы подвижными фосфатами (R = 0,95). По форме связь линейная, по направлению – прямая (рис. 1). Судя по коэффициенту множественной детерминации R<sup>2</sup> = 0,89, варибельность урожайности на 89 % связана с действием изучаемых факторов.

Одним из критериев, определяющих агрономическую эффективность удобрений, является их окупаемость прибавкой урожая. Расчеты показали, что 1 кг д.в. азотно-

калийных удобрений, внесенный в почву со средней обеспеченностью подвижными фосфатами, окупался 1,5 кг зерна, а с повышенной и высокой обеспеченностью – 2,5-2,7 кг. В вариантах с внесением полного минерального удобрения, наоборот, оплата этих удобрений была выше на естественном фоне – 3,4 кг. На искусственно созданных фонах окупаемость 1 кг д.в. составила 2,2-2,8 кг зерна. Высокая окупаемость 1 кг P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> суперфосфата – 7,8 кг зерна и фосфоритной муки – 7,3 кг получена на агрофоне со средним содержанием подвижных фосфатов.



◆ Эмпирические данные урожайности зерна при  
 - - совместном действии удобрений и фосфатного агрофона.  
 \_\_\_\_\_ Линия регрессии урожайности от совместного действия удобрений и фосфатного агрофона

Рис. 1. Зависимость урожайности (y, т/га) люпина узколистного от совместного действия удобрений (x, кг/га) и фосфатного агрофона (z, мг P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/кг)

Анализ структуры урожайности люпина узколистного показал, что выживаемость растений практически не зависела от содержания подвижных фосфатов в почве, а минеральные удобрения оказывали положительное влияние на данный показатель на всех изучаемых фосфатных агрофонах. При этом следует отметить, что высота растений на естественном фоне была ниже на 7 %, чем на искусственно созданных (табл. 2).

## 2. Структура урожая (среднее за 2012-2014 гг.)

Вариант опыта (фактор В)	Число растений к уборке на 1 м <sup>2</sup>	Высота растений, см	Число бобов с 1 растения	Число зерен в бобе	Масса зерна с растения г	Масса зерна, г/м <sup>2</sup>
<i>Содержание P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> в почве – 83-89 мг/кг (фактор А)</i>						
Контроль	69,2	54,1	5,4	3,7	2,29	158,1
V <sub>20</sub> K <sub>90</sub>	72,9	57,3	5,3	3,8	2,40	175,2
V <sub>20</sub> K <sub>90</sub> PC <sub>45</sub>	75,6	60,2	5,6	4,2	2,78	210,6
V <sub>20</sub> K <sub>90</sub> PФ <sub>45</sub>	75,1	60,4	5,5	4,2	2,78	208,6
<i>Содержание P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> в почве – 139-145 мг/кг (фактор А)</i>						
Контроль	70,5	58,0	5,7	4,0	2,61	183,9
V <sub>20</sub> K <sub>90</sub>	73,9	60,4	5,6	4,3	2,85	210,7
V <sub>20</sub> K <sub>90</sub> PC <sub>45</sub>	75,9	63,8	5,8	4,4	3,00	227,7
V <sub>20</sub> K <sub>90</sub> PФ <sub>45</sub>	75,5	63,4	5,8	4,3	2,92	220,5
<i>Содержание P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> в почве – 194-207 мг/кг (фактор А)</i>						
Контроль	70,3	58,1	5,7	4,3	2,84	199,7
V <sub>20</sub> K <sub>90</sub>	74,6	62,5	5,7	4,5	3,08	229,6
V <sub>20</sub> K <sub>90</sub> PC <sub>45</sub>	76,2	62,3	5,7	4,5	3,07	233,5
V <sub>20</sub> K <sub>90</sub> PФ <sub>45</sub>	75,9	62,4	5,7	4,5	3,03	229,7
CP <sub>05</sub> :по фактору А	3,7	3,7	0,2	0,3	0,2	11,9
по факторам В и АВ	3,0	2,9	0,2	0,2	0,2	11,4

При повышенном фосфатном уровне почвы на контроле количество бобов на растении было больше на 6 %, чем при средней обеспеченности, число зерен в бобе - на 8, масса зерна с растения – на 14, а с 1 м<sup>2</sup> – на 16 %. На фоне с высоким содержанием подвижного фосфора в почве показатели структуры урожая еще более улучшились, соответственно, на 6, 16, 24 и 26 %.

При применении азотно-калийных удобрений улучшались вышеперечисленные показатели. На повышенном фосфатном агрофоне они были выше, соответственно, на 6, 13, 19 и 20 %, на

высоком – на 8; 18; 28 и 31 %, чем на фоне со средним содержанием подвижных фосфатов. Фосфорные удобрения оказали существенное влияние на массу зерна с одного растения и 1 м<sup>2</sup> только на фоне с содержанием P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> в почве 83-89 мг/кг. В вариантах с их внесением эти показатели увеличились на 16 и 19 % в сравнении с N<sub>20</sub>K<sub>90</sub>.

Фосфатное состояние почвы и применение минеральных удобрений оказывали разностороннее влияние на содержание питательных элементов и сырого белка в зерне люпина. Средневзвешенное содержание азота было на уровне 5,42 %, фосфора – 1,13, калия – 1,04, сырого белка – 34 % на абсолютно сухое вещество. Математические модели накопления элементов питания в зерне от изучаемых факторов имеют следующий вид:

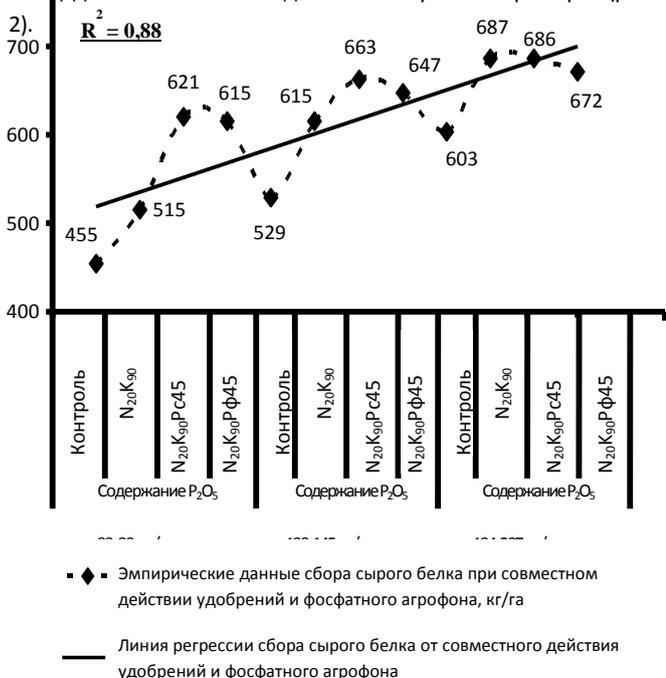
$$Y_N = 5,41 + 0,00066x - 0,00041z, R = 0,91.$$

$$Y_P = 1,08 + 0,00025x + 0,00022z, R = 0,83.$$

$$Y_K = 1,003 + 0,00019x + 0,00013z, R = 0,82,$$

где Y – содержание N, P, K, %; x – доза удобрений, кг/га; z – уровень P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> в почве, мг/кг.

Средневзвешенный выход сырого белка на агрофоне со средним содержанием подвижного фосфора составил 552 кг/га, с повышенным содержанием – 614 и высоким – 662 кг/га севооборотной площади. Между выходом сырого белка и взаимодействием двух факторов – дозами удобрений и фосфатным агрофоном существует тесная зависимость (R = 0,95). По форме связь линейная, по направлению – прямая. Исходя из коэффициента множественной детерминации, равного 0,88, выход сырого белка с 1 га севооборотной площади на 88 % связана с действием изучаемых факторов (рис. 2).



Полноценность корма определяется качеством белка, т.е. его аминокислотным составом. В нашем опыте белок зерна люпина содержал все 12 аминокислот, входящих в состав растительных белков. Это – лизин, фенилаланин, лейцин, изолейцин, валин, треонин, аргинин, тирозин, пролин, серин, аланин, глицин. Максимальная общая сумма аминокислот (17,84 %) и доля незаменимых кислот (8,04%) отмечена в варианте N<sub>20</sub>K<sub>90</sub> на агрофоне с высоким содержанием подвижных фосфатов (рис. 3).

**Заключение.** В условиях Смоленской области получение высокого урожая зерна люпина узколистного хорошего качества возможно на почвах с повышенным и высоким содержанием подвижных фосфатов и применением фосфорно-калийных удобрений в соотношении 1:2. Азотные удобрения целесообразно применять в *стартовой* дозе – 20 кг/га.

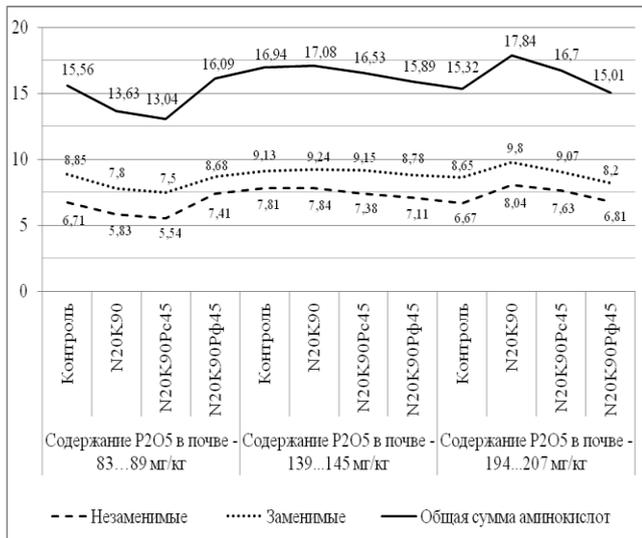


Рис. 3. Содержание аминокислот в белке зерна люпина узколистного (%)

При соблюдении всех агротехнических приемов максимальная урожайность зерна люпина получена на

высоком фосфатном фоне с применением полного минерального удобрения (N<sub>20</sub>K<sub>90</sub>Pc<sub>45</sub>) - 2,46 т/га, что обеспечило сбор сырого белка 686 кг/га севооборотной площади.

#### Литература

1. Тарануха Г.И. Люпин – источник экологически чистого белка и азота// Основные направления получения экологически чистой продукции растениеводства. – Горки, 1992. – С. 244.
2. Гукова М.М., Арбузова П.И. Биологическая фиксация атмосферного азота и фосфорное питание бобовых растений// Докл. Моск. с.-х. акад. им. Тимирязева. – 1968. - Вып. 139. – С.233-243.
3. Гукова М.М. Влияние фосфорно-калийных удобрений на урожай и азотонакопление однолетних люпинов // Люпин. – М.: Изд-во ТСХА, 1962. – С.31.
4. Ионас В.А., Вильдфлуи И.Р., Кукреши С.П. Система удобрения сельскохозяйственных культур. – Минск: Ураджай, 1998. – 287 с.
5. Трещачев Е.П. Агротехнические аспекты биологического азота в современном земледелии. – М., 1999. – 530 с.
6. Посыпанов Г.С. Азотфиксация бобовых культур в зависимости от почвенно-климатических условий // Минеральный и биологический азот в земледелии СССР. – М.: Наука, 1985. – С.75.
7. Персикова, Т.Ф., Цыганов А.Р., Какишинцев А.В. Продуктивность люпина узколистного в условиях Беларуси. Минск: ИВЦ Минфина, 2006. - 179 с.
8. Доспехов, Б.А. Методика полевого опыта. - М.: Колос, 1985. – 351 с.

#### ROLE OF SOIL PHOSPHATE STATUS AND FERTILIZERS IN THE FORMATION OF BLUE LUPINE YIELD AND THE GRAIN QUALITY

V.V. Dyshko<sup>1</sup>, V.N. Kapranov<sup>2</sup>, V.N. Dyshko<sup>1</sup>, S.M. V'yugin<sup>1,2</sup> Smolensk State Agricultural Academy, ul. Bol'shaya Sovetskaya 10/2, Smolensk, 214000 Russia <sup>2</sup>Moscow Research Agricultural Institute «Nemchinovka», ul. Kalinina 1, Novoiwanovskoe, Moscow oblast, 1143026 Russia

The efficiency of the phosphate agricultural background and mineral fertilizers for the Dikaf-14 cultivar of blue lupine (*Lupinus angustifolius*) grown for grain on soddy-podzolic soil was studied. The maximum values of the main elements of yield structure and the recoupage of nitrogen-potassium fertilizers by extra yield were obtained on the soil with the high content of available phosphates; the maximum recoupage of phosphoric fertilizers was obtained on the soil with the medium content of available phosphates. A close correlation was revealed between the grain quality and the interaction of the factors studied.

Keywords: phosphate agricultural background, mineral fertilizers, crop yield, yield structure, recoupage, blue lupine, raw protein, amino acids.

