

# Агроэкологическая эффективность различных систем удобрения ярового рапса в условиях южной лесостепи Республики Башкортостан

Юсупова Г.М., Кириллова Г.Б.

Проведена экспериментальная проверка возможности получения плановых урожаев семян ярового рапса хорошего качества при возделывании в севообороте на выщелоченных черноземах в южной лесостепной зоне Республики Башкортостан. Изученные системы применения удобрений в 2011-2013 гг. позволили получить 2.00-2.14 т/га семян или 80-86% планируемого уровня урожайности. Среднее содержание сырого протеина в семенах составило 19.8%. При этом на каждый кг д.в. удобрений было получено 1.9-2.2 кг семян, долевое участие удобрений в формировании урожая составило 22-26%, а энергетический КПД равнялся 1.12-1.50 ед. Максимальная эффективность применения удобрений была достигнута при расчете доз с применением балансовых коэффициентов использования азота, фосфора и калия из удобрений и почвы, равными 100, 70-100 и 150% соответственно.

**Р**апс – одна из перспективных масличных культур в мировом земледелии. Он широко используется в производстве рапсового масла и биодизельного топлива, а также в качестве зеленого корма, фитосанитара полей и раннего междоносца (Коваленко и др., 2010). За последние годы производство рапса в России значительно возросло. В 2013 г. посевная площадь культуры превысила показатели 2010 г. более чем в 1.5 раза и достигла 1.3 млн га (РОССТАТ, 2014), из которых 85% приходилось на яровую рапс. Площади посевов ярового рапса в Республике Башкортостан также увеличивались и к 2012 г. достигли почти 39 тыс. га, однако снизились в последующие годы.

Основной путь увеличения урожайности и валовых сборов сельскохозяйственных культур, улучшения качества продукции и сохранения (или повышения) почвенного плодородия – рациональное применение удобрений (Кириллова и Жуков, 2008). В последние десятилетия уровень применения удобрений как в России, так и в Республике Башкортостан был на низком уровне. Применение минеральных удобрений в России за последние четыре года практически оставалось на одном уровне и составляло 38-39 кг д.в./га. В Республике Башкортостан этот показатель был более чем в 2 раза ниже.

Низкий уровень обеспеченности посевов элементами питания – одна из главных причин низкой



Опытное поле, 2011 г.

Таблица 1. Урожайность семян ярового рапса при применении расчетных доз удобрений, т/га.

Вариант опыта	2011	2012	2013	В среднем за 2011-2013 гг.	Прибавка урожайности, т/га
Контроль	2.28	0.81	1.66	1.58	-
N <sub>125</sub> P <sub>40</sub> K <sub>50</sub>	2.82	1.12	2.04	1.99	0.41
N <sub>125</sub> P <sub>60</sub> K <sub>50</sub>	2.80	1.10	2.08	1.99	0.41
N <sub>125</sub> P <sub>80</sub> K <sub>50</sub>	3.04	1.14	2.12	2.10	0.52
Сидерат	2.23	0.86	1.79	1.63	0.05
Сидерат + N <sub>115</sub> P <sub>40</sub> K <sub>50</sub>	2.90	1.12	2.00	2.01	0.43
Сидерат + N <sub>115</sub> P <sub>60</sub> K <sub>50</sub>	2.99	1.16	2.09	2.08	0.50
Сидерат + N <sub>115</sub> P <sub>80</sub> K <sub>50</sub>	3.12	1.15	2.16	2.14	0.56
НСР <sub>0.05чр</sub>	0.29	0.09	0.19		
НСР <sub>0.05А</sub>	0.17	0.05	-		
НСР <sub>0.05В и АВ</sub>	0.14	0.05	-		

**Примечание:** фактор А – тип системы удобрения, фактор В – дозы удобрений, рассчитанные на разный баланс фосфора, фактор АВ – взаимодействие факторов А и В.

урожайности семян ярового рапса. В связи с этим, целью наших исследований стала экспериментальная проверка возможности получения плановых урожаев семян хорошего качества при возделывании ярового рапса в севообороте на выщелоченных черноземах с использованием разных систем применения удобрений. Исследования проводились в пятипольном зернопропашном севообороте со следующим чередованием культур: пар, озимая пшеница, яровая пшеница, яровой рапс и кукуруза на силос. Возделывался сорт ярового рапса Юбилейный.

Почва опытного участка – чернозем выщелоченный тяжелосуглинистый. Пахотный слой почвы характеризовался средним содержанием подвижного фосфора и повышенным содержанием подвижного калия по методу Чирикова (92-94 мг P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/кг почвы и 115-120 мг K<sub>2</sub>O/кг почвы соответственно), достаточно высоким содержанием гумуса (6.8-7.2%) и слабнокислой реакцией среды (рН<sub>KCl</sub> = 5.2). Повторность опыта – трехкратная. Общая площадь деля-

нок составила 108 м<sup>2</sup>. Учет урожайности проводился сплошным методом (учетная площадь – 50 м<sup>2</sup>).

Нами изучались два типа систем применения удобрений – минеральная и органоминеральная (с заделкой гороха в качестве зеленого удобрения). Схема опыта включала контрольный вариант (без удобрений), вариант с заделкой сидерата и 6 вариантов с расчетными дозами удобрений на планируемую урожайность семян 2,5 т/га: 2-4 варианты – минеральная система применения удобрений, 6-8 – органоминеральная (изучался 3-й год последствия зеленого удобрения). Варианты 2 и 6, 3 и 7, 4 и 8 рассчитаны исходя из соответственно отрицательного (-20 кг P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/га), нулевого и положительного (20 кг P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/га) баланса фосфора. Дозы азотных и калийных удобрений рассчитаны исходя из соответственно нулевого баланса азота и отрицательного баланса калия (-25 кг K<sub>2</sub>O/га).

Дозы удобрений (Д) рассчитывались балансовым методом с применением балансовых коэффициентов использования питательных элементов из удобрений и почвы (БК) по следующей формуле (Жуков, 1977):

$$D = \frac{B}{BK} \cdot 100,$$

где В – вынос азота, фосфора и калия с планируемым урожаем семян.

Балансовые коэффициенты использования азота, фосфора и калия из удобрений были приняты за 100, 150-100-70 и 150% соответственно.

Климатические условия зоны проведения исследований благоприятны для возделывания ярового рапса, но в отдельные годы ущерб посевам наносит засуха или же ливневые осадки. Метеорологические условия в 2011 и 2013 гг. были достаточно благоприятными для выращивания ярового рапса: обеспеченность теплом была на уровне среднеголетней, сумма осадков – выше нормы. В 2012 г. обеспеченность теплом была выше среднеголетней, но по сумме осадков в апреле, мае и июле отмечен резкий недостаток влаги, а в августе – избыток. Таким образом, вегетационный период 2012

г. был засушливым и жарким, что оказало негативное влияние на урожайность ярового рапса. На урожайность семян рапса влияет множество факторов, однако, как свидетельствуют многочисленные исследования, наиболее значительное влияние оказывают такие факторы, как погодные условия и применение удобрений (Исмагилов и др., 2007).

Урожайность семян ярового рапса значительно колебалась по годам исследований и во многом зависела от погодных условий (табл. 1). Так, в 2012 г. на удобренных вариантах было получено только 1.10-1.16 т/га семян, что соответствовало 44-46% от планируемого уровня и было в 2.4-2.7 раза ниже максимальных уровней урожайности, полученных в 2011 г. В этом году урожайность семян достигла 2.8-3.12 т/га и составила 112-125% от планируемой. Низкая урожайность семян в 2012 г. и низкая эффективность применения удобрений объясняются тем, что фактором, лимитирующим урожайность стала обеспеченность посевов влагой.

Во все годы исследований применение минеральных удобрений значительно повышало урожайность семян. В среднем за 3 года прибавка урожайности за счет применения максимальных доз минеральных удобрений (N125P80K50 и N115P80K50) составила 0.52-0.56 т/га или 33-35%. При этом достигнутая урожайность (в среднем 2.12 т/га) была близка к планируемому уровню и составила 85% от последнего.

Следует отметить, что в 2012 и 2013 гг. все изученные системы применения удобрений оказали равноценное влияние на урожайность семян. Однако в наиболее урожайном 2011 г. увеличение доз фосфора до 80 кг P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/га (при планировании положительного баланса фосфора) привело к существенному повышению урожайности до уровня, превышающего 3 т/га. Заделка гороха в качестве зеленого удобрения в севообороте позволила снизить дозу азота под яровой рапс на 8% (10 кг/га). Однако необходимы более детальные исследования для установления оптимальной дозы азота при использовании зеленого удобрения и без него.

Эффективность изучаемых систем применения удобрений определяется не только их влиянием на величину урожая, но и на его качество. По хими-

**Таблица 2.** Содержание азота, фосфора, калия и сырого протеина в семенах ярового рапса в среднем за 2011-2013 гг., % на абсолютно сухое вещество.

Вариант опыта	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	Сырой протеин
Контроль	2.74	1.68	0.85	16.2
N <sub>125</sub> P <sub>40</sub> K <sub>50</sub>	3.34	1.72	0.98	19.4
N <sub>125</sub> P <sub>60</sub> K <sub>50</sub>	3.33	1.70	0.96	19.5
N <sub>125</sub> P <sub>80</sub> K <sub>50</sub>	3.38	1.76	1.00	19.8
Сидерат	2.81	1.69	0.87	16.6
Сидерат + N <sub>115</sub> P <sub>40</sub> K <sub>50</sub>	3.35	1.72	0.98	19.6
Сидерат + N <sub>115</sub> P <sub>60</sub> K <sub>50</sub>	3.36	1.73	0.99	19.7
Сидерат + N <sub>115</sub> P <sub>80</sub> K <sub>50</sub>	3.38	1.75	1.00	19.8



Внесение минеральных удобрений

**Таблица 3.** Баланс элементов питания в среднем за 2011-2013 гг.

Вариант опыта	Баланс, кг д.в./га			Балансовые коэффициенты использования элементов питания из удобрений и почвы*, %		
	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
	Контроль	-55	-31	-45	-	-
N <sub>125</sub> P <sub>40</sub> K <sub>50</sub>	+38	-1.4	-22	70	104	140
N <sub>125</sub> P <sub>60</sub> K <sub>50</sub>	+37	+19	-21	70	69	138
N <sub>125</sub> P <sub>80</sub> K <sub>50</sub>	+32	+36	-26	75	55	149
Сидерат	-50	-28	-51	-	-	-
Сидерат + N <sub>115</sub> P <sub>40</sub> K <sub>50</sub>	+31	-6.3	-26	75	105	140
Сидерат + N <sub>115</sub> P <sub>60</sub> K <sub>50</sub>	+28	+16	-27	79	72	145
Сидерат + N <sub>115</sub> P <sub>80</sub> K <sub>50</sub>	+24	+34	-31	82	57	151

\* Процентное соотношение между выносом элемента питания с урожаем семян к поступлению элемента питания с удобрениями.

ческому составу судят об обеспеченности растений питательными элементами. Данные, представленные в **табл. 2**, показывают, что применение различных систем удобрений ежегодно повышало содержание азота и калия в семенах ярового рапса. В среднем за 3 года при применении минеральных удобрений содержание азота и калия в семенах выросло соответственно на 0.59-0.64% и 0.11-0.15% и достигло 3.33-3.38% и 0.96-1.00% (на абсолютно сухое вещество). Изученные системы применения удобрений оказали равноценное влияние на содержание азота и калия в семенах ярового рапса. При этом во все годы исследований применение удобрений не оказывало статистически значимого влияния на содержание фосфора в семенах.

Для оценки качества растениеводческой продукции часто используют такой показатель, как содержание «сырого протеина» в семенах (Середа и др., 2009). Данные, представленные в **табл. 2**, показывают, что применение различных систем удобрений ежегодно повышало содержание сырого протеина в семенах ярового рапса. При этом в среднем за 3 года содержание сырого протеина в семенах повысилось на 3.2-3.6% и достигло максимальной величины в 19.8%. Увеличение доз фосфорных удобрений не влияло на содержание сырого протеина в семенах ярового рапса. Следует отметить, что наиболее высокое содержание азота, фосфора, калия и сырого протеина в семенах отмечено в наиболее сухом и жарком 2012 г.

Климат в условиях Республики Башкортостан достаточно переменчив. При этом, как уже отмечалось, наблюдаются периодические засухи, что негативно влияет на урожайность и качество семян ярового рапса. Мы провели оценку влияния на урожайность и содержание азота, фосфора и калия в семенах таких факторов, как погодные условия

и используемые системы применения удобрений с помощью дисперсионного анализа. Анализ вариативности урожайности семян ярового рапса показал, что на 91% она определялась погодными условиями и только на 7% – системой применения удобрений. Содержание азота в семенах зависело почти в равной степени от погодных условий и от системы применения удобрений, содержание фосфора – в основном от погодных условий. Содержание калия в семенах на 55% зависело от используемой системы применения удобрений и лишь на 39% – от погодных условий.

Важным показателем для оценки изменений в состоянии почвенного плодородия служит баланс элементов в системе «почва – растение». В среднем за период исследований по всем вариантам опыта наблюдался положительный баланс азота и отрицательный баланс калия (**табл. 3**). Баланс фосфора в вариантах с внесением 60-80 кг P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/га был положительным, а при внесении минимальной дозы – слабо отрицательным. Как видно из **табл. 3**, полученные в исследованиях балансовые коэффициенты использования азота из удобрений и почвы (в среднем 70-82%) были заметно ниже запланированной величины (100%). Данный факт, по-видимому, можно объяснить тем, что полученные урожаи были ниже запланированного уровня. Кроме того, возможно, используемые в расчетах нормативные показатели, а именно: вынос азота с 1 т урожая семян при соответствующем количестве соломы, не соответствовал биологическим особенностям возделываемого сорта ярового рапса и почвенно-климатическим условиям.

О потребности культур в питательных элементах судят по их выносу с единицей урожая основной продукции с учетом соответствующего количества побочной продукции (соломы). Как показали наши расчеты, при применении удобрений вынос азота, фосфора (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) и калия (K<sub>2</sub>O) с 1 т семян ярового рапса увеличивался соответственно на 10-11, 2 и 7-8 кг и составил 52, 25 и 43 кг. При этом следует отметить, что вынос азота и фосфора с единицей урожая семян при соответствующем количестве соломы был на уровне нормативных значений для почвенно-климатической зоны, однако вынос калия оказался выше. Таким образом, при расчете оптимальных доз калия для получения планируемой урожайности семян ярового рапса необходима корректировка используемого при этом показателя – выноса калия 1 т семян при соответствующем количестве соломы в сторону повышения.

На основе полученных результатов была также проведена оценка агрономической и энергетической эффективности применения удобрений. В среднем за 2011-2013 гг. при использовании минеральной системы применения удобрений прибавка урожая семян на каждый кг д.в. удобрений была в диапазоне 1.74-2.04 кг, а долевое участие удобрений в формировании урожая семян при этом составило 21-25% (**табл. 4**). При использовании минеральных удобрений на фоне органических (зеленого удобрения) эти показатели были несколько выше. При

этом максимальная агрономическая эффективность применения минеральных удобрений была получена при максимальных дозах их внесения.

Согласно проведенным оценкам, использование изученных систем применения удобрений под яровой рапс было энергетически эффективным. Так, на каждую единицу затраченной энергии было получено 1.12-1.50 ед. энергии, содержащейся в прибавке урожая семян, а энергозатраты на 1 ц прибавки урожая семян составили 1556-2274 МДж. При этом наиболее энергетически выгодным оказался вариант с планируемыми положительным балансом фосфора, особенно на фоне последствия зеленого удобрения (N115P80K50).

Таким образом, использование различных систем применения удобрений на выщелоченных черноземах южной лесостепной зоны Республики Башкортостан в среднем за 2011-2013 гг. позволило получить 2.00-2.14 т/га семян ярового рапса (80-86% от планируемого уровня) с содержанием сырого протеина 19.8%. При этом на каждый кг д.в. удобрений было получено 1.74-2.20 кг семян, долевое участие удобрений в формировании урожая составило 21-26%, а энергетический КПД равнялся 1.12-1.50 ед. Наиболее эффективным оказался вариант, рассчитанный с применением балансовых коэффициентов использования азота, фосфора и калия из удобрений и почвы, принятыми за 100, 70-100 и 150% соответственно.

Юсупова Г.М. – магистр 1-го года обучения, e-mail: gulnaz-yusupova-93@mail.ru.

Кириллова Г.Б. – доктор сельскохозяйственных наук, профессор, e-mail: kgbufa@mail.ru.

Кафедра почвоведения, агрохимии и земледелия ФГБОУ ВПО «Башкирский государственный аграрный университет» (г. Уфа).

Авторы признательны региональному директору Международного института питания растений по Югу и Востоку России В.В. Носову за помощь в подготовке статьи.

## Литература

Коваленко Н.А., Нугуманов А.Х., Шириев В.М. и др. 2010. Рапс – культура XXI века. Уфа: БНИИСХ, 63 с.

РОССТАТ, 2014. www.gks.ru

Кириллова Г.Б., Жуков Ю.П. 2008. Агроэкологическая экспертиза применения удобрений в хозяйствах Чекамагушевского района в Башкирии за 1995-2000 гг. Уфа: ФГОУ ВПО БАУ, 164 с.

Жуков Ю.П. 1977. Эффективность балансовых систем удобрения в полевом севообороте. В кн.: Итоги работы Географической сети опытов с удобрениями и пути повышения эффективности применения удобрений в Нечерноземной зоне. М. С. 23-24.

Исмаилов Р.Р., Гайфуллин Р.Р. и Зарипов Р.Г. 2007. Технология производства семян ярового рапса в Республике Башкортостан. Уфа: БашГАУ, 36 с.

Серета Н.А., Валеев В.М., Баязитова Р.И. и Алибаев А.А. 2009. Практикум по агрохимии. Уфа: БашГАУ, 132 с.

## Экологическая оценка питания кукурузы на черноземе обыкновенном Ростовской области

Бирюкова О.А., Божков Д.В., Чепко Ж.А. и Носов В.В.

Исследования, проведенные на черноземе обыкновенном, показали, что в лучшем варианте опыта (N100P80K60 и обработка семян цинком) растения кукурузы были достаточно обеспечены макро- и микроэлементами для получения высокого и качественного урожая. Применение минеральных удобрений повышало содержание как макро, так и микроэлементов в зерне кукурузы. При этом не наблюдалось превышения гигиенических нормативов качества и безопасности зерна. Таким образом, рациональное применение минеральных удобрений позволяет получать экологически безопасную продукцию.

Элементный химический состав растений – один из показателей качества продукции растениеводства, и, соответственно, эффективности технологий выращивания сельскохозяйственных культур. В настоящее время назрела необходимость в разработке методов многоэлементной диагностики, позволяющих оценить не только потребность растений в отдельных элементах, но и экологическую безопасность получаемой продукции (Бирюкова, 2011). Методы многоэлементной диагностики питания растений существенно расширяют возможности сравнительной характеристики разных видов и сортов сельскохозяйственных культур по отношению к почвенным условиям, удобрениям и другим факторам, так как появляется

возможность учитывать уровень обеспеченности растений питательными элементами и экологическое качество растительной продукции (Климашевский, 1991).

Полевые опыты были проведены в 2011-2013 гг. в Целинском районе Ростовской области, территория которого по природно-экономическому делению входит в южную зону обыкновенных черноземов. Подробное описание условий проведения однолетних полевых опытов было опубликовано ранее (Носов и др., 2014).

Определение содержания N, P и K в зерне кукурузы проведено после мокрого озоления. Содержание азота в минерализате определяли по ГОСТ13496.4-93, фосфора – по ГОСТ 26657-97.