

## МЕЖДИСЦИПЛИНАРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

УДК 631.436.4:631.95:635.07

### **ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ФУНКЦИИ КАЛИЯ В АСПЕКТЕ ВЛИЯНИЯ НА КАЧЕСТВО РАСТИТЕЛЬНОЙ ПРОДУКЦИИ**

**В.А. Воробьёв**

Великолукская государственная сельскохозяйственная академия,  
Великие Луки

Изучались экологические функции калия в аспекте их влияния на качество растительной продукции. Установлено влияние этого элемента на ряд показателей, в том числе, на снижение содержания нитратов в зелёной массе кукурузы.

*Ключевые слова:* калий, экологические функции, химический состав, растениеводство.

**Введение.** Одной из составляющих роли калия в народном хозяйстве является его влияние на качество продукции растениеводства. Хотя качество продукции определяется многими параметрами, такими как генетика, сортовые особенности, погода и т.п., за накопление растениями ценных питательных веществ и витаминов отвечают, в том числе, макро- и микроэлементы.

Учитывая незаменимую роль калия в углеводном и белковом обменах в растительной клетке, большинство учёных оценивают влияние калийных удобрений на качество сельскохозяйственной продукции как сугубо положительное (Белоус и др., 2010, 2015; Бельченко и др., 2011; Воробьёв, 2015; Гаврилова, 2015). В первую очередь это касается влияния калийных удобрений на накопление сахаров в корнеплодах и крахмала в клубнях картофеля, а также синтез белка.

В то же время существует немало данных о негативном влиянии калийных удобрений на крахмалистость картофеля, которое обычно приписывается хлору – спутнику основных видов калийных туков (Черников, 2000). По обобщённым данным Небольсиных (1997) при обычных для производственных условий дозах хлорсодержащих калийных удобрений содержание крахмала в клубнях изменяется незначительно.

Несмотря на доказательства участия калия в реакциях белкового обмена, калийные удобрения существенного влияния на содержание белка в растениях не оказывают. При недостаточном калийном питании растений отмечено ухудшение синтеза белка и накопление небелкового

азота (Амелин, 1999).

Не менее противоречивы данные и о влиянии калия удобрений на накопление в растительной продукции нитратов. Существенно снижение концентрации нитратов под влиянием калийных удобрений отмечалось в работах Борисова (1994), Черникова (2000), Иванова (2000), Мязина (2006). Небольских (1997) и Убугунов (2005) не посчитали такую зависимость закономерной. Неоднозначность данных может быть объяснена тем, что калий стимулирует не только процессы трансформации нитратов в растительной клетке, но и скорость их поглощения из почвенного раствора (Kirkby, Knight, 1977).

Существенное значение для качества растительной продукции имеет содержание в ней самого калия как составной части ценных для здоровья человека и животных минеральных солей. Концентрация же последних напрямую зависит от окультуренности почвы и доз калийсодержащих удобрений (Чеботарёв и др., 2005). Но при избыточном питании калием возможно его накопление в продукции в концентрации, превышающей 3,6% (ПДК) в сухом веществе (Небольсин, Небольсина, 1997; Якименко, 2003). Это может стать причиной обеднения продукции столь необходимыми человеку и животным солями натрия, кальция и магния.

**Методика.** Полевые опыты по оценке систем удобрения картофеля проводились на базе развёрнутых во времени полевых севооборотов. Первый из них, заложенный в 1987 г, зернопропашной с чередованием культур «картофель ранний - рожь озимая - свёкла кормовая - ячмень - кукуруза – овёс». Второй, заложенный в 2002 г, зернотравянопропашной «картофель - ячмень + клевер - клевер 1 г.п. - клевер 2 г.п. - свёкла кормовая – овёс».

Схема первого опыта включала следующие основные варианты: 1. контроль (без удобрения), 2. N120, 3. N120K60, 5. N120P60K60. Схема второго опыта включала: 1. контроль (без удобрения), 2. Навоз, 40 т/га, 3. NPэкв NP 40 т/га навоза + K90, NPэкв NP 40 т/га навоза + K115, NPK экв 40 т/га навоза.

Площадь опытных делянок составила от 42 до 112 м<sup>2</sup>. Использовалась трехкратная повторность.

Была выбрана дерново-слабоподзолистая остаточно - карбонатная легкосуглинистая хорошо окультуренная почва. Её агрохимические показатели на момент закладки опытов были: гумус - 2,46 - 2,71 %, рН<sub>ксл</sub> - 6,2 - 6,4, Нг - 1,11 - 1,89 мг-экв/100 г, S - 8,45 - 11,9 мг-экв/100 г, V - 82 - 91,4%, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> и K<sub>2</sub>O (по Кирсанову) - 402 - 599 и 227 - 466 мг/кг.

Агротехника в опыте проводилась в соответствии с зональными рекомендациями. Минеральные удобрения в виде аммиачной селитры,

азофоски, двойного суперфосфата и хлористого калия вносили под предпосевную культивацию, органические – под перепашку зяби.

Учёт урожая проводился сплошным весовым методом. Статистическая обработка полученных урожайных данных выполнялась методом дисперсионного анализа.

**Результаты и обсуждение.** В длительных исследованиях в условиях зернопропашного севооборота возделывались шесть культур, существенно отличающихся физиологической потребностью в калии. Для большинства из них такая потребность полностью (или почти полностью) удовлетворялась за счёт почвенных запасов легкодоступных форм калия. Поэтому на качество растительной продукции, как и на урожайность, большее влияние оказывало только азотное удобрение (табл. 1).

Таблица 1

Влияние минеральных систем удобрения на качественный состав основной продукции сельскохозяйственных культур

Вариант системы удобрения	Содержание (в среднем за 21 год), %						NO <sub>3</sub> , мг/кг
	сырой протеин	крахмал	сахара	клетчатка	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	
<b>Картофель ранний</b>							
Без удобрений	1,2	12,8	не опр.	не опр.	0,08	0,45	55
N <sub>120</sub>	1,7	12,3	не опр.	не опр.	0,07	0,42	82
N <sub>120</sub> P <sub>60</sub> K <sub>60</sub>	1,4	12,3	не опр.	не опр.	0,07	0,37	98
НСР <sub>05</sub>	0,3	0,9			0,03	0,16	21
<b>Рожь озимая</b>							
Без удобрений	11,1	46,3	не опр.	не опр.	0,89	0,53	12
N <sub>90-120</sub>	13,1	46,8	не опр.	не опр.	0,93	0,51	16
N <sub>90-120</sub> P <sub>60</sub> K <sub>60</sub>	13,0	49,0	не опр.	не опр.	0,93	0,46	3
НСР <sub>05</sub>	1,0	3,7			0,09	0,19	6
<b>Свекла кормовая</b>							
Без удобрений	1,1	не опр.	8,9	не опр.	0,08	0,46	582
N <sub>120</sub>	1,2	не опр.	8,5	не опр.	0,08	0,44	1023
N <sub>120</sub> P <sub>60</sub> K <sub>60</sub>	1,2	не опр.	8,5	не опр.	0,08	0,45	1057
НСР <sub>05</sub>	0,3		0,7		0,02	0,12	192
<b>Овес</b>							
Без удобрений	10,9	53,9	не опр.	не опр.	0,76	0,51	13
N <sub>90-120</sub>	12,2	53,2	не опр.	не опр.	0,78	0,55	16
N <sub>90-120</sub> P <sub>60</sub> K <sub>60</sub>	11,9	53,1	не опр.	не опр.	0,74	0,56	17
НСР <sub>05</sub>	0,8	2,8			0,18	0,13	10
<b>Кукуруза</b>							
Без удобрений	3,0	не опр.	не опр.	8,6	0,13	0,63	253
N <sub>120</sub>	3,4	не опр.	не опр.	7,1	0,15	0,58	233
N <sub>120</sub> P <sub>60</sub> K <sub>60</sub>	3,8	не опр.	не опр.	7,7	0,16	0,67	185
НСР <sub>05</sub>	0,7			0,9	0,04	0,21	44
<b>Ячмень</b>							
Без удобрений	9,3	56,8	не опр.	не опр.	0,86	0,65	31
N <sub>90-120</sub>	10,5	54,8	не опр.	не опр.	0,91	0,62	35
N <sub>90-120</sub> P <sub>60</sub> K <sub>60</sub>	10,6	55,9	не опр.	не опр.	0,95	0,65	41
НСР <sub>05</sub>	1,1	2,3			0,11	0,07	16

В варианте моноазотной системы удобрения содержание сырого протеина в зерне ржи, овса и ячменя, в сравнении с контрольным вариантом, было выше на 14%, что, с учётом положительного действия азота на урожайность, обеспечивало увеличение сбора протеина с единицы площади на 43%.

В основной продукции пропашных культур увеличение содержания сырого протеина было несколько значительнее – на 19%, что для кормовых культур (кукурузы и кормовой свёклы) можно считать позитивным изменением. Ощутимо снижалось под действием высокой дозы азота содержание клетчатки в зелёной массе кукурузы.

Крахмалистость картофеля и зерна под влиянием повышенных и высоких доз азота либо не изменялась (озимая рожь, овёс), либо имела тенденцию на снижение (ячмень, клубни картофеля). Это же относится и к сахаристости корнеплодов свёклы. Но недобор и крахмала, и сахаров вследствие снижения их концентрации в продукции значительно перекрывался за счёт прибавки урожайности.

Зольный составы продукции определялся генетическими особенностями сельскохозяйственных культур и, отчасти, погодными условиями. Азотное удобрение влияния на него не оказывало. А стабильность показателей содержания в продукции соединений фосфора и калия по всем вариантам опыта объясняется почти полным удовлетворением потребностей растений в этих элементах за счёт их почвенных запасов.

Вероятно, с уровнем окультуренности почвы связано и относительно небольшое увеличение загрязнения продукции нитратами на фоне высокой дозы азота. Однако, в отличие от большинства качественных показателей, оно было статистически достоверным для трёх культур: картофеля, кормовой свёклы и брюквы, оставаясь при этом на экологически безопасном уровне.

Ежегодное внесение 60 кг/га калия, или около 20 мг  $K_2O$  на 1 кг почвы пахотного слоя, не вызывало принципиальных изменений в уровне питания растений калием, поскольку только водорастворимых его соединений почва содержала в 10 раз больше. Поэтому действие калийного удобрения на качество растительной продукции и на фоне одного азота, и на азотно-фосфатном фоне было, как правило, несущественным (у двух культур наблюдалось ухудшение качественных показателей в варианте НК: у картофеля снижение содержания крахмала, у овса – сырого протеина).

Следует отметить, что даже содержание калия во всех видах продукции и во все годы не реагировало на внесение калийного удобрения (как и на внесение других видов удобрений). Зато этот показатель сильно зависел от метеоусловий вегетационного периода. Так, в избыточно влажном 1987 г клубни картофеля содержали в

среднем по вариантам опыта 0,44% K<sub>2</sub>O, а в засушливом 1999 г – в 1,5 раза больше (0,65%). По мнению В.И. Никитишена (2004), при обилии осадков калий в значительных количествах вымывается из вегетативных органов растений. Видимо поэтому произошло обеднение клубней картофеля калием в 1 год исследований.

Таблица 2

Влияние систем удобрения на качественный состав основной продукции плодосменного севооборота

Вариант системы удобрения	Содержание, %					NO <sub>3</sub> , мг/кг
	сырой протеин	крахмал	сахара	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	
Картофель						
Без удобрений	1,3	12,8	не опр.	0,07	0,48	70
Навоз, 40 т/га	1,7	12,6	не опр.	0,08	0,52	86
NP <sub>зв.</sub> 40т/га навоза+ K <sub>90</sub>	1,5	12,3	не опр.	0,08	0,52	80
NP <sub>зв.</sub> 40т/га навоза+ K <sub>115</sub>	1,5	12,3	не опр.	0,08	0,50	76
NPK <sub>зв.</sub> 40т/га навоза	1,6	12,4	не опр.	0,08	0,54	76
НСР <sub>05</sub>	0,3	0,7		0,02	0,10	17
Ячмень						
Без удобрений	12,3	54,2	не опр.	0,80	0,60	36
Навоз, 40 т/га	13,6	54,8	не опр.	0,87	0,62	40
NP <sub>зв.</sub> 40т/га навоза+ K <sub>90</sub>	13,8	54,6	не опр.	0,92	0,66	40
NP <sub>зв.</sub> 40т/га навоза+ K <sub>115</sub>	13,8	54,2	не опр.	0,92	0,66	38
NPK <sub>зв.</sub> 40т/га навоза	13,6	54,2	не опр.	0,96	0,70	38
НСР <sub>05</sub>	1,2	2,0		0,10	0,11	7
Клевер (зеленая масса)						
Без удобрений	3,2	не опр.	не опр.	0,20	0,35	66
Навоз, 40 т/га	3,5	не опр.	не опр.	0,21	0,35	75
NP <sub>зв.</sub> 40т/га навоза+ K <sub>90</sub>	3,5	не опр.	не опр.	0,21	0,35	81
NP <sub>зв.</sub> 40т/га навоза+ K <sub>115</sub>	3,5	не опр.	не опр.	0,20	0,36	72
NPK <sub>зв.</sub> 40т/га навоза	3,5	не опр.	не опр.	0,20	0,36	54
НСР <sub>05</sub>	0,3			0,05	0,04	18
Свекла кормовая						
Без удобрений	0,9	не опр.	8,1	0,06	0,30	413
Навоз, 40 т/га	1,0	не опр.	7,7	0,07	0,34	516
NP <sub>зв.</sub> 40т/га навоза+ K <sub>90</sub>	1,0	не опр.	7,7	0,07	0,34	502
NP <sub>зв.</sub> 40т/га навоза+ K <sub>115</sub>	1,0	не опр.	8,2	0,07	0,36	497
NPK <sub>зв.</sub> 40т/га навоза	1,3	не опр.	8,5	0,07	0,36	488
НСР <sub>05</sub>	0,3		0,6	0,03	0,07	84
Овес						
Без удобрений	12,5	50,7	не опр.	0,70	0,50	21
Навоз, 40 т/га	13,0	49,3	не опр.	0,72	0,54	21
NP <sub>зв.</sub> 40т/га навоза+ K <sub>90</sub>	12,8	49,9	не опр.	0,76	0,54	19
NP <sub>зв.</sub> 40т/га навоза+ K <sub>115</sub>	12,8	48,9	не опр.	0,76	0,56	23
NPK <sub>зв.</sub> 40т/га навоза	13,0	48,9	не опр.	0,76	0,56	15
НСР <sub>05</sub>	0,9	2,1		0,11	0,11	8

Данные многолетнего опыта подтвердили мнение Небольсиных (1997) о незначительном влиянии калийных удобрений на процессы метаболизма соединений азота в растениях. У большинства культур севооборота концентрация нитратов в продукции имела связь только с азотным удобрением. И лишь в зелёной массе кукурузы имело место снижение на 16 - 21% содержания нитратов в вариантах с калийным удобрением. На особое значение калия удобрений для этой культуры

обращали внимание Прокошев и Дерюгин (2000), считающие, что во избежание избытка нитратов в зелёной массе интенсивность баланса калия в системе удобрения не должна быть менее 80 - 100%.

В стационарном опыте № 2 набор сельскохозяйственных культур отличался от опыта №1 присутствием в нём посевов клевера лугового двухлетнего использования. С экологических позиций зернотравянопропашной севооборот предпочтительнее зернопропашного, так как в нём применяются значительно меньшие дозы минерального азота, и накапливается биологический азот. Но качество продукции в этих двух севооборотах не имело больших различий. Исключением является содержание нитратов в корнеплодах кормовой свёклы: в первом севообороте оно было в среднем на 88% больше (табл. 2). Можно предположить, что и в опыте №2 изменение качественных показателей растительной продукции обязано, в основном, как азоту навоза (вариант 2), так и минерального удобрения (варианты 3 - 5). Но в относительных величинах оно было меньше, чем в опыте №1, поскольку в регулировании азотного питания растений важную роль играл «биологический» азот (в том числе и в варианте «без удобрений»). В среднем по пяти культурам севооборота увеличение содержания сырого протеина на фоне навоза составило 13%, на фоне минеральных систем удобрения - 12,8%; соответственно нитратов - 14,6 и 6,4%. По другим качественным показателям изменения находились в пределах ошибки исследования.

Увеличение среднегодовой дозы  $K_2O$  с 30 до 93 кг/га на изученных показателях качества растительной продукции не отражалось.

**Заключение.** По итогам двух опытов в полевых севооборотах на хорошо окультуренной дерново-подзолистой почве можно заключить, что в условиях полного или почти полного удовлетворения потребностей растений в калии за счёт его почвенных запасов общепринятые представления о влиянии калийных удобрений на химический состав растительной продукции подтверждаются не всегда (во всяком случае, при дозах  $K_2O$  до 90 кг/га).

### **Список литературы**

- Амелин А.А.* 1999. Калийные удобрения и аккумуляция нитратов в растениях // *Агрохимия*. № 9. С. 29-36.
- Белоус Н.М., Талызин В.В., Шаповалов В.Ф., Симоненко Н.К.* 2010. Влияние удобрений на содержание азотистых веществ и тяжёлых металлов в клубнях картофеля // *Агрохимия*. №3. С. 22-28.
- Белоус Н.М., Шаповалов В.Ф., Малявко Г.П., Шлык Д.П.* 2015. Влияние средств химизации на урожайность и качество картофеля в условиях радиоактивного загрязнения // *Земледелие*. №5. С. 17-21.

- Бельченко С.А. Белоус Н.М., Драганская М.Г.* 2011. Влияние систем удобрения на урожайность и качество зелёной массы кукурузы // Достижения науки и техники АПК. №5. С. 59-61.
- Борисов В.А.* 1994. Эффективность применения калийных удобрений в овощеводстве // Химия в сельском хозяйстве. № 2. С. 15-17.
- Воробьёв В.А.* 2015. Оценка систем удобрения картофеля в полевых севооборотах // Аграрная наука. № 3. С. 14-16.
- Гаврилова Г.В.* 2015. Влияние калийного удобрения на урожайность и качество зерна озимой тритикале // Общество, наука и инновации: сборник статей международной научно-практической конференции. Ч. 2. Уфа: Аэтерна. С. 79-81.
- Иванов А.И.* 2000. Почвенно-агрохимическое обоснование системы удобрения на хорошо окультуренных дерново-подзолистых почвах Северо - Запада России: автореф. дис. ... докт. с.-х. наук. СПб.: Пушкин. 40 с.
- Мязин Н.Г. Павлов Р.А., Шеина В.В.* 2006. Влияние удобрений на накопление нитратов и тяжёлых металлов в почве и растениях и на продуктивность звена зернопропашного севооборота // Агрохимия. № 2. С. 22-29.
- Небольсин А.Н., Небольсина З.П.* 1997. Научные основы и технология использования удобрений и извести СПб.: СЗНИИСХ. 52 с.
- Никитишён В.И.* 2004. О потерях калия посевами озимой пшеницы в период созревания // Агрохимия. № 10. С. 87-94.
- Прокошев В.В., Дерюгин И.П.* 2000. Калий и калийные удобрения М.: Ледум. 185 с.
- Убугунов Л.Л. Меркушева М.Г., Будаев Б.Х.* 2005. Влияние возрастающих доз калийных удобрений на урожайность, качество, сохранность картофеля и динамику обменного калия в орошаемых каштановых почвах Забайкалья // Агрохимия. № 3. С. 44-54.
- Чеботарёв Н.Т., Ермолина В.И., Кормановская В.М.* 2005. Влияние длительного внесения удобрений на плодородие подзолистой почвы и продуктивность культур в кормовом севообороте // Агрохимия. № 4. С. 5-9.
- Черников В.А.* 2000. Агроэкология. М.: Колос. 536 с.
- Якименко В.Н.* 2003. Калий в агроценозах Западной Сибири. Новосибирск: Изд-во СО РАН. 231 с.
- Kirkby E.A. Knight A.H.* 1977. Influence of the level of nitrate nutrition on ion uptake and assimilation, organic acid accumulation and cat-anion balance in whole tomato plants // Plant Physiol. V. 60. P. 249-276.

**POTASSIUM'S ECOLOGICAL VALUES AS VIEWED  
IN THEIR INFLUENCE UPON THE CROP QUALITY**

**V.A. Vorobiov**

State Agricultural Academy of Velikie Luki, Velikie Luki

On the course of a long-term research, we studied the potassium values as viewed in their influence upon the crop quality. We found that potassium causes the decrease of the nitrate content in the corn green mass.

**Keywords:** *potassium, ecological values, chemical composition, crop.*

*Об авторе*

**ВОРОБЬЁВ** Вячеслав Анатольевич – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, декан факультета технологии животноводства и агроэкологии, ФГБОУ ВО «Великолукская государственная сельскохозяйственная академия», 182112, Великие Луки, пр-т Ленина, д. 2, e-mail: ftga@vgsa.ru.

Воробьев В.А. Экологические функции калия в аспекте влияния на качество растительной продукции / В.А. Воробьев // Вестн. ТвГУ. Сер.: Биология и экология. 2016. № 1. С. 127-134.