

РАСТЕНИЕВОДСТВО

ВЛИЯНИЕ СЕРЫ НА СОДЕРЖАНИЕ ПИГМЕНТОВ В ЛИСТЬЯХ И НАКОПЛЕНИЕ СУХОГО ВЕЩЕСТВА РАСТЕНИЯМИ КАРТОФЕЛЯ В УСЛОВИЯХ ВЕГЕТАЦИОННОГО ОПЫТА

В.Д. Нагорный, Расуанайву Нурусон Арималала

Российский университет дружбы народов
ул. Миклухо-Маклая, 8/2, Москва, Россия, 117198

Со времени применения минеральных удобрений для повышения плодородия почв во всех регионах простой суперфосфат был основным фосфорным удобрением. Это удобрение содержит не только 19—21% P_2O_5 , но и балласт в форме гипса и остатков серной кислоты. Как следствие этого все почвы, в которые вносился простой суперфосфат, с каждым килограммом удобрения получали не только 190—210 г фосфора (P_2O_5), но и 80—100 г серы (S). В течение последних 40—50 лет основными фосфорными удобрениями стали двойной и тройной суперфосфат и полифосфаты аммония, калия и магния с содержанием 42—52% P_2O_5 . Основным источником серы в районах, где не применяются серные удобрения (гипс, сульфаты калия, магния аммония), стали только атмосферные осадки, приносящие окислы серы, выбрасываемые промышленными предприятиями и выхлопными газами автомобилей и тракторов. В этих условиях чаще стали проявляться симптомы недостатка серы в минеральном питании растений. Такие симптомы чаще всего проявляются на посевах масличных, бобовых и корнеплодных культур. Уровни оптимального содержания серы в растениях большинства культур установлены, однако есть необходимость в получении достоверных сведений о периодах, когда растения более чувствительны к недостатку серы, и на какие физиологические процессы этот элемент непосредственным образом оказывает критическое влияние. В статье приводятся сведения о влиянии калия и сопутствующих анионов на содержание пигментов в листьях картофеля и накопление сухого вещества растениями.

Ключевые слова: сера, серные удобрения, хлорофилл, каротиноиды, спектры поглощения УФ

Сера, наряду с азотом, фосфором, калием и магнием, является важным элементом питания, принимающим прямое или опосредованное участие в процессах метаболизма и синтеза в растениях. Сера принимает активное участие в многочисленных реакциях обмена веществ в растениях. Почти все белки содержат серосодержащие аминокислоты — метионин, цистеин, цистин [1; 4; 6—8]. Недостаток этого элемента, как и избыток, оказывают существенное влияние на продуктивность растений. О тесной взаимосвязи азотного и серного питания растений могут также свидетельствовать сходные пути ассимиляции этих элементов. Они могут

поглощаться в восстановленной (NH_3 и SH_2) и окисленной формах (NO_3^- и SO_4^{2-}), но в составе органических соединений растений эти элементы в восстановленной форме. Максимальное поглощение их растениями также происходит в период наибольшей метаболической активности в местах синтеза белка и в период основного накопления сухого вещества [3; 4; 6; 7].

Отмечено, что уровень азотного и серного питания предопределяет также устойчивость растений против болезней и, в конечном счете, продуктивность растений.

Эта тесная взаимосвязь роли азота и серы в метаболизме растений пробудила интерес как к раскрытию этой взаимосвязи, так и к поиску оперативных методов для оценки уровней питания растений этими элементами и дистанционных методов мониторинга состояния посевов. Местом, где, вероятнее всего, в большей мере проявляется взаимосвязь азотного и серного питания и где отражается этот механизм, является зеленый лист растений, который стал самым распространенным объектом исследований по оценке физиологического состояния растений и потенциальной продуктивности зеленых растений.

Целью проведенных исследований было изучение влияния калийных солей (KNO_3 , KCl и K_2SO_4) на содержание пигментов в листьях и накопление сухого вещества растениями картофеля в условиях вегетационного опыта.

Объект и методы исследований. Вегетационный опыт проведен в лаборатории Агробиотехнологического департамента Агротехнологического института Российского университета дружбы народов в феврале—марте 2016 г. Объектом исследований являлся скороспелый сорт картофеля «Аризона». Субстрат — торф, обогащенный черноземной почвой в отношении 3 : 1. Объем сосудов 3 л. В каждый сосуд высаживали пророщенные клубни картофеля массой 3—5 г. Повторность четырехкратная. Температура воздуха в лаборатории не превышала 22—24 °С. Уровень освещенности составлял ~5000 люкс. Для компенсации недостатка ультрафиолетового спектра использовали UV Uniell ESL-312-25, 36w. Состав питательной среды представлен в табл. 1.

Таблица 1

Состав питательного раствора

Общий фон	Формула мин. солей	Варианты		
		KNO_3	KCl	K_2SO_4
$\text{K}_{100}\text{N}_{100}\text{P}_{50}\text{S}_{41}$	KNO_3	250	—	—
	KCl	—	190	—
	K_2SO_4	—	—	223
	$(\text{NH}_4)_3\text{PO}_4$	240	240	240
	$\text{CO}(\text{NH}_2)_2$	—	124	124
	MgSO_4	154	154	—
	MgO	32	32	83
	CaCO_3	250	250	250

*Микроэлементы: Мо и В — 1 мг элемента/сосуд.

Реакция растений на анионы солей определялась по следующим показателям:

- масса сухого вещества, синтезированного растениями за цикл выращивания двумя сортами;
- содержание хлорофилла Cha, Chb, Chc и каротиноидов, извлекаемых ацетоном из листьев;
- оптическая плотность вытяжек для различных волн ультрафиолетового спектра.

Для анализа содержания пигментов использовали пластинки четвертого листа на стебле картофеля. Общую сумму пигментов определяли после высушивания одинакового объема ацетоновой вытяжки. По техническим причинам длительность выращивания растений на субстратах была различной; при выращивании растений сорта «роко» — 45 дней, а сорта «аризона» — 60 дней. В первом случае растения выращивали без дополнительного освещения ультрафиолетовой лампой, в результате чего растения были этиолированными, во втором случае растения развивались до начала фазы цветения, после чего опыт был прекращен из-за достижения растениями используемых ламп.

Состав пигментов определяли на УФ-спектрофотометре Perkin Elmer Kambda 950 UV. Накопление общей сухой массы растениями сорта «аризона» определяли в фазу начала цветения. Масса сухого вещества, синтезированного растениями, определяли после высушивания всей массы столонов, корней и вегетативной части растений.

Общий вид растений к моменту завершения опытов представлен на фотографиях (рис. 1).



Рис. 1. Вегетационные сосуды с разными формами калийного удобрения (слева сорт Роко, справа сорт Аризона)

Результаты исследований. Основными источниками серы в почве служит ее органический материал, атмосферные выпадения и серосодержащие удобрения. На органические формы серы в почве приходится 75—90%, а минеральной — 10—25% от общего ее содержания в почве. Минерализация органического вещества в сосудах могла обеспечивать растения картофеля серой в тех вариантах, где калий вносился в форме селитры или хлорида. Так как растения картофеля выращи-

вались на торфо-почвенном субстрате, то абсолютный дефицит практически всех элементов питания исключался полностью, и на всех вариантах опыта известных признаков серного голодания в первом и третьем вариантах опыта не было выявлено. В то же время было отмечено, что растения в сосудах с хлоридом калия испытывали водный стресс из-за пониженной влажности воздуха в помещении. Об этом свидетельствовали поникшие, а местами подсушенные края листовых пластинок, несмотря на повышенную влажность субстрата в сосудах.

Таким образом, интенсивность зеленого цвета и отражательная способность листовой поверхности таких растений может быть существенно ниже. Зеленая окраска листьев и состояние их поверхности на растениях других вариантов были в пределах нормы. Это является дополнительным подтверждением выводов, сделанных ранее о том, что бесхлорные калийные удобрения обеспечивают более высокую урожайность картофеля и улучшают качество клубней.

Анионы калийных солей оказали различное влияние как на формирование сухой массы отдельных органов картофеля (табл. 2), так и всего растения в целом (табл. 3). При коротком периоде выращивания картофеля в сосудах (от фазы всходов до фазы ветвления) хлористый калий и сернокислый калий больше способствовали формированию вегетативной массы и корней, чем нитрат калия. При более длительном периоде выращивания (от всходов до начала цветения) положительное влияние анионов хлора и сульфата на накопление сухого вещества существенно усилилось. При этом более продуктивное формирование массы растений оказывал сульфат калия.

Таблица 2

Влияние калийных солей на накопление сухого вещества органами растений картофеля сорта «Роко»

Части растения	Сухая масса растений (г)			
	KNO ₃	KCl	K ₂ SO ₄	СУММА
вегетативная	2,50a	3,17b	3,46с	9,13
корневая	0,44a	0,66b	0,55b	1,65
столоны	0,06a	0,11b	0,07a	0,24
СУММА	3	3,94	4,08	11,02

Таблица 2

Влияние калийных солей на накопление сухого вещества органами растений картофеля сорта «Аризона»

Разные формы калийного удобрения	Сухая масса растений в граммах				сумма V	среднее V
	1	2	3	4		
KNO ₃	3,07	2,88	3,21	2,87	12,03	3,0075
KCl	3,83	4,07	4,05	3,79	15,74	3,935
K ₂ SO ₄	4,29	4,39	3,66	3,97	16,31	4,0775

Установлено [2; 7], что образование каротиноидов зависит от уровня азотного питания. Большее накопление каротиноидов происходит при выращивании растений на нитратном фоне по сравнению с аммиачным. Недостаток серы резко уменьшает содержание каротиноидов. В варианте с сульфатом калия содержание каро-

тиноидов в 1,7 раза больше, чем при использовании нитрата или хлорида калия. По условиям эксперимента содержание основных элементов питания и микроэлементов было одинаковым. Разное по массе содержание пигментов и, в частности, различных форм хлорофилла в листьях двух сортов подтверждает влияние форм калийного удобрения на величину этих показателей. Если положительное влияние повышенного уровня азотного питания на содержание хлорофилла известно, то, как свидетельствуют полученные данные, повышенный уровень серного питания практически не влияет на содержание форм хлорофилла. Но при этом проявляется существенное влияние сульфата калия на массу других пигментов в листьях, измеряемых как в мг на грамм сухого вещества листьев, так и в мг на единицу площади листовой пластинки (рис. 2).

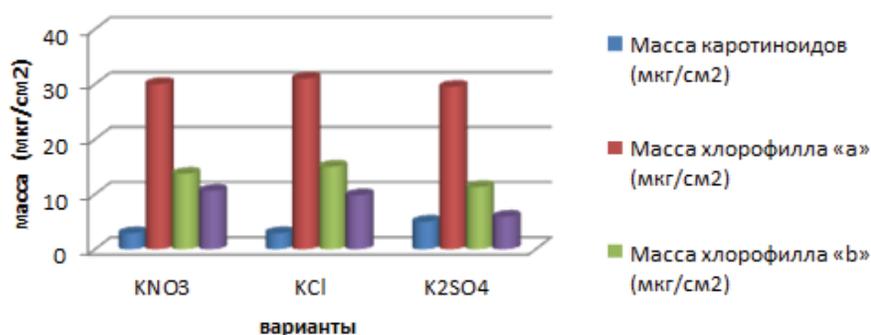


Рис. 2. Масса пигментов в ацетоновой вытяжке из листьев картофеля сорта Роко

Таким образом, интенсивность окраски листа зависит как от уровня азотного питания, так и от уровня содержания серы в питательном субстрате.

Измерение содержания зеленых пигментов, азота и серы в листьях может дать дополнительный повод для более глубокой интерпретации влияния различных форм калийного удобрения на физиологическое состояние растений в определенные фазы и на продуктивность растений.

Основным аргументом, вызвавшим изменение содержания хлорофиллов, было большее или меньшее содержание хлоридов или сульфатов. Показателем влияния этих анионов на содержание различных типов хлорофиллов в ацетоновых вытяжках из листьев является изменение величины оптической плотности этих вытяжек для характеристических волн инфракрасного спектра. При использовании сульфата калия содержание всех экстрагируемых веществ и каротиноидов было выше по сравнению с другими вариантами. Но при этом содержание хлорофиллов всех типов в листьях картофеля этого варианта было достоверно наименьшим. Относительное увеличение содержания хлоридов привело к увеличению содержания всех типов хлорофилла в листьях (рис. 3).

Механизм влияния анионов калийной соли на содержание и трансформацию всех пигментов в листьях растений пока еще не установлен, однако имеются сведения о том, что различные биохимические процессы, происходящие в зеленом листе, требуют разное количество световой энергии, что и подтверждается спектральными характеристиками зеленых пигментов [2; 3; 7].

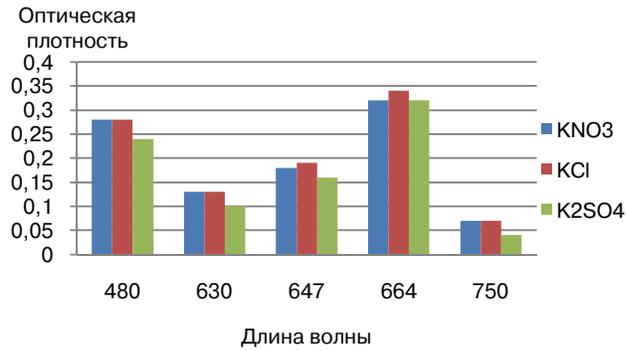


Рис. 3. Оптическая плотность ацетоновой вытяжки хлорофиллов в зависимости от формы калия в субстрате

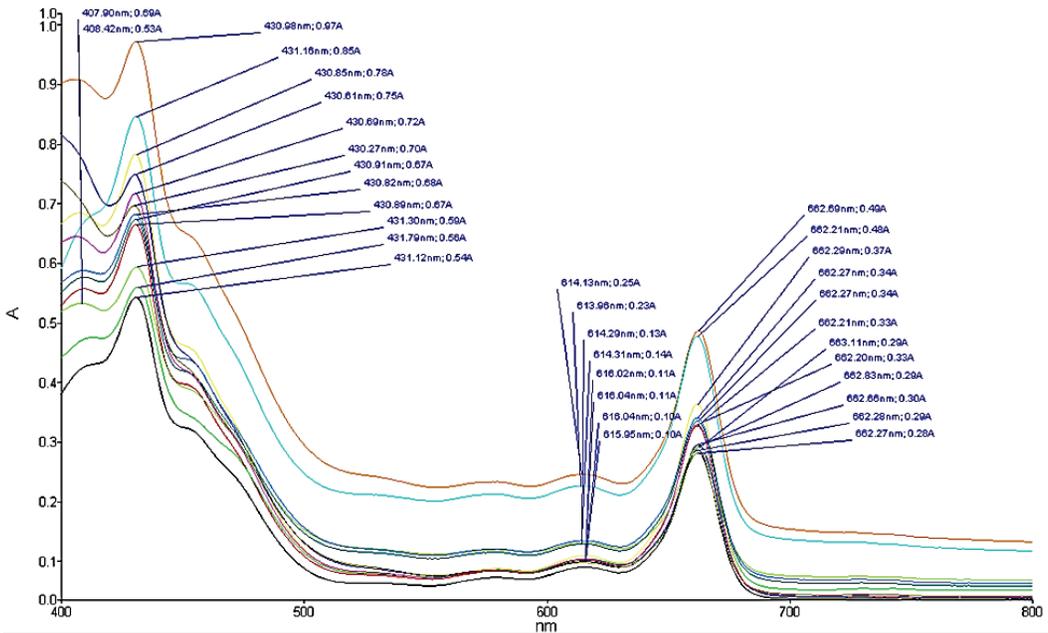


Рис. 4. Спектрограммы пигментов зеленого листа

Детальный анализ УФ спектрограмм ацетоновых вытяжек пигментов листьев картофеля в УФ области (рис. 4; 5) показывает, что превышение содержания хлоридов или сульфатов в питательной среде может оказывать влияние на спектральные характеристики всех пигментов листа, вызывая изменения как интенсивности абсорбции энергии, так и смещение преимущественно поглощаемой длины волны спектра.

Установлено, что каждый биохимический процесс в листе требует определенной энергии, и это находит отражение в спектре поглощения. Так, синтез хлорофилла и фотосинтез требует большего количества энергии, чем, например фотоморфогенез (рис. 5). Для синтеза каротиноидов требуется больше энергии, и на фоне повышенного содержания хлоридов в питательной среде этот процесс идет активнее, чем на субстрате с повышенным содержанием нитратов или сульфатов.

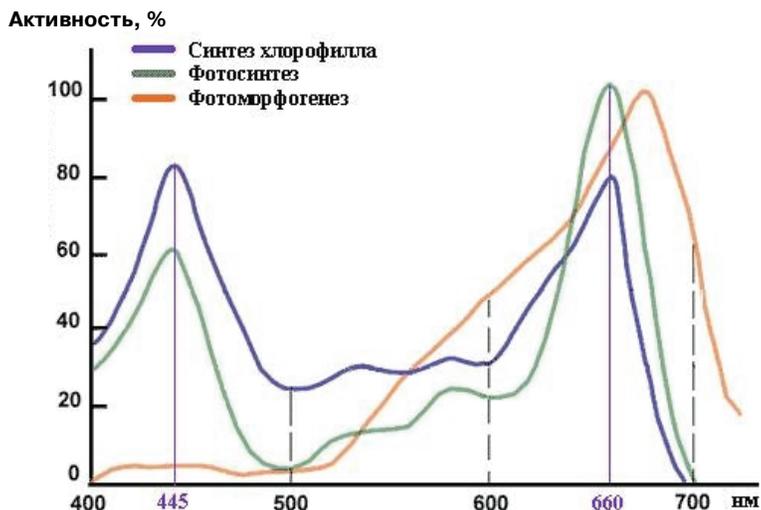


Рис. 5. Области преимущественного поглощения энергии различными биохимическими процессами в листьях зеленого растения [2]

Выводы

Полученные результаты полевого опыта позволяют сделать следующие предварительные выводы.

1. Повышенный уровень минерального питания, создаваемый одноразовым внесением всех (NPK) удобрений при посадке, обеспечивает получение большей массы всех клубней, но с меньшей долей посадочной фракции соответствующих размерам посадочного картофеля (50—70 и 20—50 мм) — 46%.

2. Внесение гипса при посадке в дозе 240 кг SO_4^{2-} на га увеличивало долю как семенной фракции картофеля до 71%, так и долю недоразвитых клубеньков на столонах, которые в случае уборки картофеля в сентябре могли бы вырасти до размера семенной фракции.

3. Подкормка картофеля сульфатом калия, проведенная в начале фазы цветения, способствовала формированию большей массы посадочных клубней — 87% (фракция 50—70 мм — 104 г: фракция 20—50 мм — 35 г). Такая подкормка способствовала закладке потенциально большего числа клубней.

4. Подкормка хлористым калием также способствовала формированию большей массы посадочных клубней (56% от массы фракций), но существенно меньше, чем подкормка сульфатом калия.

5. Реакция растений картофеля на подкормки сульфатом и хлоридом калия дает основание предполагать, что положительное действие калийного удобрения (КСI в опыте), внесенного при посадке, затухает по причине вымывания вниз по профилю почвы и влияния известкования. В то же время положительная реакция растений картофеля на калийную подкормку подтверждает известный факт, что большая часть калия поглощается растениями во второй половине вегетации (с начала фазы цветения до завершения вегетации).

6. Использование разных калийных форм удобрений существенно влияет на сухую массу органов растений картофеля — надземные органы, корни и столоны.

7. Превышение содержания нитратов в питательной среде оказывает большее влияние на общую массу растений картофеля по сравнению с вариантами, когда преобладают хлориды или сульфаты.

8. Превышение концентрации хлоридов в питательной среде существенно увеличивает содержание хлорофилла `а` и `б` и увеличивает поглощение энергии в области 660—664 нм.

9. Сульфат-ион способствует большему накоплению сухих веществ, переходящих в ацетоновую вытяжку, и увеличивает формирование большей массы растений. Косвенно это подтверждается смещением спектра поглощенной энергии в область ближе к 680 нм — к энергетической области фотоморфогенеза.

© Нагорный В.Д., Расуанайву Нурусон Арималала, 2016.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- [1] Аристархов А.Н. Агрохимия серы / Под ред. В.Г. Сычева. М.: ВНИИА, 2007.
- [2] Кузнецов В.В., Г.А. Дмитриева. Физиология растений. Высшая школа, 2005.
- [3] Нортон Р., Миккелсен Р., Дженсен Т. Значение серы в питании растений // Питание растений. 2014. № 3. С. 2—5.
- [4] Тилл А.Р. Сера и устойчивое земледелие. 2011. URL: <http://www.fertilizer.org/HomePage/LIBRARY/Our-selection2/Fertilizer-use.html/Sulphur-and-Sustainable-Agriculture.html>.
- [5] Физиология растений. Значение отдельных участков солнечного спектра для фотосинтеза. URL: <http://fizrast.ru/fotosintez/energetika/spectr.html>.
- [6] Blair G.J. (2002). Sulfur fertilizers: A global perspective. Proceedings No. 98, International Fertiliser Society, York, UK. pp 1—36.
- [7] Blake-Kalff M.M.A., Zhao F.J., McGrath S.P. (2002). Sulfur deficiency diagnosis using plant tissue analysis. Proceedings No. 503, International Fertiliser Society, York, UK. P. 1—22.
- [8] De Kok L.J., Castro J.A., Durenkamp M., Stuiver C.E., Westerman S., Yang L., Stulen I. (2002). Sulfur in plant physiology. Proceedings No. 500, International Fertiliser Society, York, UK. P. 1—26.

LEAF PIGMENT CONTENT AND ACCUMULATION OF DRY MATTER BY POTATO PLANT AS AFFECTED BY SULFATE FERTILIZER IN GREEN HOUSE EXPERIMENT

V.D. Nagorny, R. Nourouson Arimalala

Peoples' Friendship University of Russia
Miklukho-Maklay Str., 8/2, Moscow, Russia, 117198

From the time mineral fertilizers were used single superphosphate have been the main source of phosphate in plant nutrition. This fertilizer contains not only 19—21% of P_2O_5 but also sulfate in form of gypsum and small amount of sulfuric acid. As a result, application of one kg of superphosphate enriched the soil with 80—100 g of sulfates. During last 40—50 years single superphosphate was replaced by concentrated mineral fertilizers which contain up to 42—52% of P_2O_5 . And now on some soils the main source of sulfur

become precipitations which bring sulfur oxides produced by chemical enterprises and exhaust fumes of machinery. As a consequence of this there are not rear cases when growing plants, and more often legumes, oil and root corps, show signs of sulfur deficit. Optimal levels of sulfur content in plant leaves well established. But there is obvious interest to get more objective data on physiological processes which are more sensitive to deficit of this plant nutrient and on preferable time of sulfur application. Influence of sulfate and other anions of potassium fertilizers on leaf pigment content and accumulation of dry matter by potato plants are presented and discussed in the article.

Key words: sulfur, sulfate fertilizer, chlorophyll, carotenoids, absorbance of UV spectrum

REFERENCES

- [1] Aristarhov A.N. Agrohimiya sery. Ed. V.G. Sycheva. M.: VNIIA, 2007.
- [2] Kuznecov V.V., Dmitrieva G.A. Fiziologija rasteni. Vysshaja shkola, 2005.
- [3] Norton R., Mikkelsen R., Dzhensen T. Znachenie sery v pitanii rastenij. *Pitanie rastenij*. 2014. № 3. S. 2—5.
- [4] Till A.R. Sera i ustojchivoe zemledelie. 2011. URL: <http://www.fertilizer.org/HomePage/LIBRARY/Our-selection2/Fertilizer-use.html/Sulphur-and-Sustainable-Agriculture.html>.
- [5] Fiziologija rastenij. Znachenie otdel'nyh uchastkov solnechnogo spektra dlja fotosinteza. URL: <http://fizrast.ru/fotosintez/energetika/spectr.html>.
- [6] Blair G.J. (2002). Sulfur fertilizers: A global perspective. Proceedings No. 98, International Fertiliser Society, York, UK. P. 1—36.
- [7] Blake-Kalff M.M.A., Zhao F.J., McGrath S.P. (2002). Sulfur deficiency diagnosis using plant tissue analysis. Proceedings No. 503, International Fertiliser Society, York, UK. P. 1—22.
- [8] De Kok L.J., Castro J.A., Durenkamp M., Stuiver C.E., Westerman S., Yang L., Stulen I. (2002). Sulfur in plant physiology. Proceedings No. 500, International Fertiliser Society, York, UK. P. 1—26.