

УДК 631.8 : 57.087.1 : 635.21 (470.21)

ВЛИЯНИЕ УДОБРЕНИЙ НА СОДЕРЖАНИЕ НИТРАТОВ В КЛУБНЯХ КАРТОФЕЛЯ

В.И. Костюк, Полярно-альпийский ботанический сад-институт Кольского НЦ РАН

Важнейшее условие получения высоких урожаев картофеля на Кольском полуострове — регулярное применение органических и минеральных удобрений. Минеральные удобрения вносят под картофель в так называемых «северных дозах» (с доминантой фосфорного компонента), ускоряющих развитие растений и стимулирующих физиологическое вызревание клубней [1]. При нарушении баланса основных элементов питания ранние сорта картофеля аккумулируют в клубнях сверхнормативное количество нитратов [2].

Цель настоящей работы — многокритериальный подбор таких комбинаций органических и минеральных удобрений, которые давали бы возможность получать в данном регионе не только высокие урожаи картофеля надлежащего качества, но и минимизировали бы содержание нитратов в клубнях.

Полевой опыт проводили в течение двух лет на Полярной опытной станции ВИР с использованием картофеля сорта Хибинский ранний на хорошо окультуренной подзолистой песчаной почве со следующими агрохимическими характеристиками пахотного слоя: $pH_{KCl} = 6,4-7,0$, сумма аммонийного (с реактивом Несслера [3]) и нитратного (по Грандваль-Ляжу [3]) азота — 8,1—12,9 мг/100 г, содержание подвижного фосфора и обменного калия (по Бурриелю-Гернандо [4]) — 7,0—12,1 и 30—52 мг/100 г почвы соответственно.

Органические удобрения вносили перед посадкой картофеля в виде бесподстилочного навоза крупного рогатого скота, а минеральные удобрения — под культивацию в форме аммиачной селитры (N), двойного суперфосфата (P) и хлористого калия (KCl). Опыт проводили по 16-вариантной схеме Рехтшафнера [5] в 3-кратной повторности (табл.). Дозы удобрений варьировали на трех уровнях: навоз (Н) — 0, 60 и 120 т/га, N, P и KCl — 0, 140 и 280 кг/га д.в.

Семенные клубни картофеля массой 60—80 г проращивали на свету в течение 35—40 сут., а затем высаживали на опытном участке 28.05—02.06 по схеме 70 × 30 см. Учет урожая товарных клубней проводили 27.08—31.08. Учетная площадь делянок по каждому варианту опыта составляла 90 м². Содержание крахмала в клубнях картофеля определяли поляриметрическим методом [6], сырого белка — рефрактометрическим [7], а уровень накопления нитратов оценивали ионселективным методом [8].

Подбор оптимальных доз удобрений для культуры картофеля — сложная многоцелевая операционная задача. Наряду с основным критерием оптимизации (выход урожая товарных клубней с единицы площади агроценоза), в ней приходится учитывать также совокупность вспомогательных критериев, характеризующих качество получаемого урожая (например, содержание крахмала, белка и нитратов в клубнях картофеля).

Дозы органических и минеральных удобрений, оптимизирующие основные и вспомогательные целевые функции, могут быть различными, а порою даже взаимоисключающими. Поэтому такого рода задачи обычно решают объединением нескольких показателей в один агрегированный параметр [9]. Одним из наиболее удобных способов построения агрегированного отклика (составного, комплексного критерия оптимизации) является обобщенная функция желательности [10]. Для ее построения натуральные значения частных откликов (результативных признаков) преобразуются в безразмерную шкалу желательности, которая имеет интервал от 0 до 1 (или от 0 до 100).

Корреляционный анализ экспериментального материала показал, что между урожайностью картофеля и содержанием крахмала в клубнях существует отрицательная связь ($r = -0,36$), тогда как с содержанием белка и нитратов урожайность коррелирует положительно ($r = 0,38$ и $r = 0,24$ соответственно). В свою очередь, крахмалистость клубней отрицательно коррелирует с содержанием в них белка ($r = -0,64$) и нитратов ($r = -0,39$). Между содержанием белка и нитратов в клубнях картофеля наблюдается хорошо выраженная положительная связь ($r = 0,79$). Поэтому с учетом специфики межпризнаковых корреляций высший уровень желательности (1) был присвоен максимальным значениям урожая товарных клубней, содержания крахмала и сырого белка, а низший (0) — максимальным значениям накопления нитратов.

Решение многокритериальной задачи оптимизации органично-минерального питания картофеля состояло из двух этапов: построения регрессионных моделей для каждой целевой переменной и построения общего профиля желательности для совокупности рассматриваемых откликов.

Для реализации первого этапа оптимизирующей процедуры строили квадратичные модели, включающие в свою структуру линейные и квадратичные эффекты влияния удобрений, а также эффекты их двухфакторных взаимодействий (уравнения не приводятся, чтобы не загромождать статью). Точность аппроксимации экспериментальных данных этими уравнениями связи (оцениваемая с помощью коэффициента детерминации — $R^2 \cdot 100\%$) для урожайности составила 99,7%, содержания крахмала — 98,6, содержания белка — 99,6 и для накопления нитратов — 99,9%.

Проведенные с помощью этих уравнений вычисления по многофакторной оптимизации каждого локального

Матрица планирования и результаты натурного эксперимента

Вариант	Навоз, т/га	N	P	KCl	Урожайность, кг/м ²	Содержание крахмала, %	Содержание белка, %	Содержание нитратов, мг/кг
1	0	0	0	0	2,43	10,3	0,30	52
2	120	140	140	140	3,17	8,8	0,48	214
3	60	280	140	140	3,18	9,8	0,48	368
4	60	140	280	140	3,77	9,1	0,42	249
5	60	140	140	280	3,46	9,0	0,51	243
6	0	280	280	280	3,37	9,6	0,45	360
7	120	0	280	280	2,70	9,9	0,45	180
8	120	280	0	280	2,96	9,4	0,51	279
9	120	280	280	0	3,03	9,4	0,56	545
10	0	0	280	280	2,80	10,6	0,36	137
11	0	280	0	280	2,56	9,9	0,42	320
12	0	280	280	0	3,32	9,8	0,52	399
13	120	280	0	0	2,93	9,9	0,42	299
14	120	0	280	0	3,75	10,5	0,45	216
15	120	0	0	280	3,05	10,6	0,33	142
16	60	140	140	140	3,39	9,5	0,42	222

критерия (отклика) показали, что урожайность картофеля достигает расчетного максимума ($3,78 \text{ кг/м}^2$) при совместном внесении 56 т/га навоза и $N_{159}P_{280}K_{121}$. Наиболее высокое содержание крахмала в клубнях ($10,6\%$) наблюдается при использовании умеренных доз навоза (44 т/га) и максимальных доз фосфорно-калийных удобрений ($P_{280}K_{280}$). Расчетный максимум белка в клубнях картофеля ($0,59\%$) достигается при использовании самых высоких доз органических и минеральных удобрений (120 т/га навоза и $N_{280}P_{280}K_{280}$). Минимальное накопление нитратов в клубнях (52 мг/кг) отмечено при полном отказе от всех видов удобрений.

Поиск оптимальных доз и соотношений удобрений для совокупности плохо согласуемых между собой результативных показателей (многокритериальная оптимизация) проводился путем прямого обращения к этим статистическим моделям. Расчеты показали, что максимум общей функции желательности ($78,6\%$) достигается при использовании простой комбинации органоминеральных удобрений, состоящей из навоза (28 т/га) и двойного суперфосфата (252 кг/га). На этом фоне органоминерального питания образуется самый высокий урожай товарных клубней картофеля ($3,78 \text{ кг/м}^2$). Расчетное содержание крахмала в клубнях достигает $10,7\%$, белка — $0,45\%$, а содержание нитратов составляет 132 мг/кг , что является вполне приемлемым для ранних сортов картофеля [12].

С помощью вычислительных экспериментов, проведенных в окрестности оптимального решения, было установ-

лено, что в практическом плане более целесообразной является следующая комбинация удобрений: навоз (70 т/га) + P_{90} . Расчетные значения результативных признаков для этого фона питания выглядят следующим образом: урожай товарных клубней — $3,73 \text{ кг/м}^2$, содержание крахмала в клубнях — $10,8\%$, содержание сырого белка в клубнях — $0,38\%$, накопление нитратов — 128 мг/кг . Общая функция желательности при этом несколько снижается и составляет $70,7\%$.

Если предъявлять менее жесткие требования к величине и качеству получаемого урожая (оставаясь в области компромиссов), то, как показывают наши расчеты, на фоне 70 т/га навоза вполне допустимо применение полного минерального удобрения в количестве $N_{60}P_{60}K_{60}$. Следует подчеркнуть, что при этих условиях корневого питания общая функция желательности уменьшается до $55,2\%$, что обусловлено снижением урожайности картофеля до $3,56 \text{ кг/м}^2$, крахмалистости клубней — до 10% , содержания сырого белка — до $0,35\%$ и увеличением концентрации нитратов в клубнях тест-объекта до 136 мг/кг сырой массы (главным образом, за счет аммиачной селитры). Однако использование полного минерального удобрения в сочетании с навозом позволяет компенсировать вынос биогенных элементов с общей фитомассой растений картофеля и поддерживать оптимальные параметры агрохимических показателей плодородия почвы.

Результаты данной работы могут быть использованы для повышения эффективности производства картофеля в районах Крайнего Севера. 

ВЛИЯНИЕ УДОБРЕНИЙ НА СОДЕРЖАНИЕ НИТРАТОВ В КЛУБНЯХ КАРТОФЕЛЯ INFLUENCE OF FERTILIZERS ON THE CONTENTS OF NITRATES IN TUBERS OF POTATO PLANTS

Литература

1. Коровин А.И. Роль температуры в минеральном питании растений. Л.: Гидрометеоиздат, 1972. 283 с.
2. Костюк В.И. Оптимизация питания картофеля на Кольском Севере // Агрохимия. 1995. № 3. С. 15-24.
3. Аринушкина Е.В. Руководство по химическому анализу почв. М.: Изд-во МГУ, 1970. 487 с.
4. Агрохимические методы исследования почв. М.: Наука, 1975. 656 с.
5. Бродский В.З., Бродский Л.И., Голикова Т.И., Никитина Е.П., Панченко Л.А. Таблицы планов эксперимента для факторных и полиномиальных моделей (справочное издание). М.: Металлургия, 1982. 752 с.
6. Ермаков А.И., Арасимович В.В., Ярош Н.П. и др. Методы биохимического исследования растений. Л.: Агропромиздат, 1987. 430 с.
7. Вечер А.С., Гончарик М.Н. Физиология и биохимия картофеля. Минск: Наука и техника, 1973. 264 с.
8. Русин Г.Г. Физико-химические методы анализа в агрохимии. М.: Агропромиздат, 1990. 303 с.
9. Грачев Ю.П., Плаксин Ю.М. Математические методы планирования экспериментов. М.: ДеЛи принт, 2005. 296 с.
10. Адлер Ю.П., Маркова Е.В., Грановский Ю.В. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. М.: Наука, 1976. 279 с.
11. Боровиков В. STATISTICA: искусство анализа данных на компьютере. СПб.: Питер, 2001. 656 с.
12. Карманов С.Н., Кирухин В.П., Коршунов А.В. Урожай и качество картофеля. М.: Россельхозиздат, 1988. 167 с.

Резюме

Установлено, что стратегии минерального питания картофеля, направленные на увеличение урожайности культуры и улучшение химического состава клубней имеют разнонаправленный характер. Показано, что для подбора наилучших режимов питания растений картофеля можно использовать метод многокритериальной оптимизации на основе построения функции желательности обобщенного отклика. Предложены компромиссные схемы минерального питания для картофеля сорта Хибинский ранний, удовлетворяющие взаимоисключающим требованиям.

Potato mineral nutrition strategies aimed at the crop capacity increase and tubers chemistry amelioration was established to have alternate characteristic. It was shown that the method of the multiobjective optimization on the base of the construction of generalized reaction desirability function might be used for the potato nutrition conditions selection. The compromise schemes that answer the mutually exclusive requirements of potato plants of the Khibinsky early-ripe variety mineral nutrition have been suggested.

Ключевые слова

картофель, удобрения, урожайность, крахмал, нитраты, оптимизация.
potato, fertilizers, crop capacity, starch, nitrates, optimization.