

Связь урожайности овса с показателями тканевой диагностики растений

Л.Н. Ермакова

Агрохимический анализ растений на содержание в них макроэлементов – это трудоемкий и дорогостоящий процесс, но в конечном итоге полностью окупающийся. На основе данных анализа можно с большой точностью рассчитать потребности растений в элементах минерального питания и дозы основных удобрений. При этом дозы удобрений рассчитываются с учетом экологической безопасности для окружающей среды, т. е. вычисляется баланс между минеральными соединениями, поступающими в почву и выносимыми растениями.

В факториальном опыте отзывчивости овса на возрастающие дозы минеральных удобрений (Пермский НИИСХ, 1990–1992 гг.) агрохимический анализ растений проводился в фенологические фазы кущения и выхода в трубку.

Дозы минеральных удобрений в опыте изменялись от 0 (контрольный вариант) до 150 кг/га действующего вещества (д.в.). Обозначения вариантов: 1 – 30, 2 – 60, 3 – 90, 4 – 120, 5 – 150 кг/га д.в.

В.В. Церлинг предложила уровни-параметры содержания макроэлементов в растениях овса (табл. 1). При возрастании доз азотных удобрений содержание азота в тканях растений изменялось от очень низкого до оптимального. Так, при отсутствии азотных удобрений наблюдается очень низкий и низкий уровень (3,34 – 4,98 мг/кг сухого вещества). При дозе азотных удобрений 30 кг/га д.в. и более содержание азота в растениях становится оптимальным. При внесении фосфорно-калийных удобрений в количестве 120-150 кг/га д.в. сохраняется оптимальное содержание азота и калия, а фосфор остается на низком уровне. Очевидно, внесение фосфорно-калийных удобрений в умеренных и высоких дозах стимулирует поступление в растения собственного азота почвы.

Годы проведения факториального опыта отличались по погодным условиям, что отразилось на содержании макроэлементов в тканях растений овса.

В 1990 г. режим увлажнения по фазам развития растений был неравномерным. В период посев-кущение сумма осадков составила 119 мм (при средней многолетней норме 67 мм). За период кущение – выметывание метёлки выпало 60 мм осадков при такой же средней многолетней норме. В целом же за вегетационный период сумма осадков составила 289 мм. Температурный фон в первой половине вегетации был понижен. Такие условия явились важной предпосылкой формирования высоких урожаев овса.

Таким образом, при дозах азотных туков 30 – 60 кг/га содержание азота оптимально. Содержание калия в растениях приближается к оптимальному при внесении доз фосфора и калия по 30 кг/га. Оптимальный уровень макроэлементов наблюдается и в других вариантах опыта. Однако экономически нецелесообразно увеличивать дозы минеральных удобрений более 30–60 кг/га, если оптимума можно добиться при меньших дозах. Содержание фосфора в большинстве вариантов факториального опыта было низким, что возможно является следствием внесения фосфорных удобрений.

Таблица 1

Уровни - параметры содержания макроэлементов в растениях овса по В.В. Церлинг, мг/кг

Уровень	Фенологическая фаза					
	Кущение			Выход в трубку		
	Азот	Фосфор	Калий	Азот	Фосфор	Калий
Очень низкий	< 4,0	0,20-0,45	< 3,0	< 2	< 0,20	< 0,30
Низкий	4,0-5,0	0,45-0,85	3,0-4,0	2,1-3,0	0,26-0,39	3,1-4,9
Оптимальный	5,1-6,4	0,86-1,49	5,0-5,9	3,1-4,9	0,40-0,89	5,0-5,9
Высокий	> 6,5	> 1,50	> 6,0	> 5	> 0,9	> 6,0

В 1991 г. метеоусловия не способствовали получению высоких урожаев овса. Со второй половины мая установилась сухая, жаркая погода, обусловленная преобладанием над территорией Среднего Урала устойчивого антициклона. Так, в мае выпало 36 мм (69 % нормы), а в июне – 45 мм (65 % нормы) осадков. Относительная влажность воздуха составляла 40 – 45 %, температурный фон был повышен: средняя суточная температура воздуха существенно выше нормы, максимальная достигала 30°C и более. Максимальная температура поверхности почвы превышала 45–50 °С. Произошло значительное иссушение почвы, что повлекло за собой недостаточную обеспеченность растений влагой и вызвало замедление роста и развития овса.

Засушливые условия 1991 г. отразились и на данных тканевой диагностики. Несмотря на увеличение доз минеральных удобрений, содержание в растениях овса азота и фосфора оставалось низким и даже очень низким. Лишь увеличение доз фосфорных удобрений до 90–150 кг/га, а калийных до 60–120 кг/га приводит к некоторому повышению содержания азота. Таким образом, интенсивная почвенная засуха затрудняет поступление минеральных соединений в растения. Увеличение доз вносимых удобрений приводит лишь к насыщению почвенного раствора минеральными солями до токсических концентраций.

В 1990 г. наблюдался большой разброс в содержании макроэлементов по вариантам опыта, чем в 1991 г. Некоторые «скачки» в содержании элементов сложно объяснить. Возможно, какую-то роль сыграло неравномерное распределение по полю почвенной влаги.

Б.Р. Бофисом разработан способ вычисления индексов содержания макроэлементов для нахождения среди них лимитирующего.

При анализе трех элементов индексы каждого из них вычисляют по формулам

$$N_{\text{индекс}} = (f(N/P) + f(N/K))/2,$$

$$P_{\text{индекс}} = (f(N/P) + f(K/P))/2,$$

$$K_{\text{индекс}} = (f(K/P) - f(N/K))/2,$$

$$f(N/P) = (\Phi(N/P) / H(N/P)) - 1 (1000/C_v), \text{ если } N/P > H(N/P),$$

$$f(N/P) = (1 - (H(N/P) / (\Phi(N/P))) \cdot (1000/C_v), \text{ если } N/P < H(N/P),$$

где $\Phi(N/P)$ — фактически полученные результаты анализа растений; $H(N/P)$ — отношение нормального (оптимального) содержания этих элементов, C_v — коэффициент вариации. Так же вычисляют отношение N/K и P/K .

Расчеты индексов Е.Р. Бофиса позволяют сделать ранжирование содержания в тканях растений макроэлементов. Чем больше индексы того или иного элемента, тем в большем количестве он содержится в растениях.

В работе индексы Е.Р. Бофиса рассчитаны по данным тканевой диагностики в фенологическую фазу кущения 1990 и 1991 гг. (табл. 2).

Из вариантов опыта лишь в трех наблюдается соотношение $P < K < N$ т.е. избыток содержания азота и явный недостаток фосфора. Это варианты с высокими дозами азотных удобрений – 120–150 кг/га. В шести вариантах опыта отмечается соотношение $K < N < P$, т.е. в тканях растений содержится избыточное количество фосфора и недостаточное калия. Следует отметить, что в вариантах опыта с одинаковыми дозами азотных и калийных удобрений индексы отличаются незначительно и ранжирование можно считать условным (например, в вариантах 525, 555, 414, 141 и т.д.). Один из всех вариантов (030) показал, что индексы азота, фосфора, калия – отрицательны, т.е. в растениях овса наблюдается недостаток всех макроэлементов в растениях овса.

В остальных вариантах опыта отмечается соотношение $N < K < P$. Это варианты с отсутствием азотных удобрений, а также варианты с большой диспропорцией между азотными и фосфорными удобрениями, например, 1:4, 4:1, 2:5, 5:2.

Таким образом, индексы Е.Р. Бофиса показывают, что наибольший дисбаланс наблюдается при большой диспропорции между дозами минеральных удобрений.

Таблица 2

Индексы Е.Р. Бофиса. Фенологическая фаза кушение, 1990 г.

Вариант опыта, NPK	N	P	K	Сумма	Соотношение макроэлементов
000	1,9	6,8	3,3	12	$N < K < P$
003	4,6	5,8	3,1	13,5	$K < N < P$
030	-2,1	-4,7	-4	-10,8	$P < K < N$
033	2,2	7	3,7	12,9	$N < K < P$
300	4,8	8,5	4,9	18,2	$N < K < P$
303	4,5	7,4	4,6	16,5	$N < K < P$
333	4,3	8,2	4,4	16,9	$N < K < P$
111	4,7	8,5	3,8	17	$K < N < P$
114	3	6,4	3,5	12,9	$N < K < P$
141	3,2	3,3	2,8	9,3	$K < N < P$
144	5,2	8	4,8	18	$K < N < P$
411	4	7,2	4,3	15,5	$N < K < P$
414	3,3	5,9	3,5	12,7	$N < K < P$
441	3,3	1,7	1,8	6,8	$P < K < N$
444	3,9	2,4	2,8	9,1	$P < K < N$
222	3,6	6,2	4,3	14,1	$N < K < P$
225	3	6,7	4,6	14,3	$N < K < P$
252	2,5	6,4	4,1	13	$N < K < P$
255	3,3	7,3	4,7	15,3	$N < K < P$
522	4,3	7,9	4,4	16,6	$N < K < P$
525	2,6	3,1	2,3	8	$K < N < P$
552	3,5	2,3	2,7	8,5	$P < K < N$
555	6,8	11,7	6,4	24,9	$K < N < P$

В 1991 г. в четырех вариантах опыта наблюдается соотношение $P < N < K$, т.е. избыток содержания калия и недостаток фосфора. Это, как правило, варианты с высокими дозами азотных и низкими дозами фосфорных удобрений (303, 411, 414, 525). В остальных вариантах опыта отмечается соотношение $N < P < K$ (табл. 3). По всем вариантам

индексы азота и фосфора приблизительно равны, а индекс калия намного выше. Это связано с метеоусловиями 1991 г. Почвенная засуха затруднила поступление макроэлементов в растения, и самым доступным элементом питания оказался калий.

Таким образом, для условий достаточного увлажнения характерно соотношение $N < K < P$, для засушливых – $N < P < K$. Наибольший дисбаланс в элементах наблюдается при большой диспропорции между дозами минеральных удобрений.

Для обеспечения сбалансированности элементов корневого питания растения рассчитывают и поправочные коэффициенты к дозам основных минеральных удобрений:

$$ПК_N = (N_o/P_o K_o/P_o) / (N_\phi/P_\phi K_\phi/P_\phi);$$

$$ПК_P = (N_o/P_o K_o/P_o) / (N_\phi/P_\phi K_\phi/P_\phi);$$

$$ПК_K = (N_o/K_o K_o/P_o) / (N_\phi/K_\phi K_\phi/P_\phi);$$

$$D_o = D_n ПК;$$

где o и ϕ — индексы при элементах, означают величины оптимальные и фактические; D_o — оптимальная доза, уточненная по анализу растения; D_n — общепринятая доза, рассчитанная по анализу почв или иначе, без учета данных растительной диагностики.

Таблица 3

Индексы Е.Р. Бофиса. Фенологическая фаза кущение, 1991 г.

Вариант опыта, NPK	N	P	K	Сумма	Соотношение макроэлементов
000	3.0	3.3	4.3	10.6	$N < P < K$
003	2.8	4.7	7.5	15.0	$N < P < K$
030	2.5	3.1	5.6	11.2	$N < P < K$
033	2.4	3.6	5.9	11.9	$N < P < K$
300	1.9	2.7	4.6	9.2	$N < P < K$
303	3.6	2.1	5.6	11.3	$P < N < K$
333	2.4	3.3	5.7	11.4	$N < P < K$
111	2.6	3.2	5.9	11.7	$N < P < K$
114	2.7	2.9	5.6	11.2	$N < P < K$
141	2.4	2.7	4.9	10.0	$N < P < K$
144	3.7	3.9	7.9	15.5	$N < P < K$
411	3.0	2.7	4.3	10.0	$P < N < K$
414	2.8	2.6	5.6	11.1	$P < N < K$
441	3.1	3.2	5.4	11.7	$N < P < K$
444	3.2	3.4	6.1	12.7	$N < P < K$
222	2.7	2.9	5.4	11.0	$N < P < K$
225	2.6	2.7	5.3	10.6	$N < P < K$
252	2.7	3.1	3.9	9.7	$N < P < K$
255	2.5	2.9	4.4	9.8	$N < P < K$
522	2.2	3.3	4.8	10.3	$N < P < K$
525	3.1	2.8	5.3	11.2	$P < N < K$
552	2.5	3.4	5.9	11.8	$N < P < K$
555	2.9	3.8	6.7	13.4	$N < P < K$

Учет поправочных коэффициентов при определении оптимальных доз минеральных удобрений позволяет сбалансировать содержание в тканях растений всех трех макроэлементов – азота, фосфора, калия.

Расчет поправочных коэффициентов к дозам азотных удобрений (ПК_N) в 1990 г. (фенологическая фаза кущения) показал, что практически во всех вариантах опыта дозы удобрений необходимо было уменьшить в три раза или менее (табл.4). Особенно это прослеживается в вариантах опыта 555, 522, 411, 144, 111, 300, т.е. уменьшения требуют в основном умеренные и высокие дозы азотных удобрений (> 90 кг/га). Поправочные коэффициенты по азоту приближаются к единице в вариантах опыта 552, 525, 252, 225, 444, 441, 114. Почти все эти варианты характеризуются либо низкими дозами азотных удобрений в сочетании с высокими дозами фосфорных и калийных удобрений, либо, наоборот, высокими дозами азотных удобрений в сочетании с низкими дозами фосфорных и калийных удобрений. В факториальном опыте предусмотрены варианты с отсутствием азотных удобрений на разном фоне сочетаний фосфорно-калийных. Для этих вариантов каких-то рекомендаций относительно корректировки доз удобрений дать сложно.

Таблица 4

**Поправочные коэффициенты к дозам минеральных удобрений
(фенологическая фаза кущения, 1990 г.)**

Вариант опыта, NPK	ПК _N	ПК _P	ПК _K	Дозы минеральных удобрений после корректировки, кг/га		
				Д _N	Д _P	Д _K
000	1,28	0,55	0,89	0,00	0,00	0,00
003	0,46	0,65	0,67	0,00	0,00	60,14
030	2,09	1,86	1,57	0,00	167,21	0,00
033	0,76	0,57	0,76	0,00	51,26	68,16
300	0,41	0,53	0,60	36,84	0,00	0,00
303	0,62	0,53	0,69	55,88	0,00	62,23
333	0,62	0,53	0,69	56,03	47,38	62,05
111	0,39	0,49	0,58	11,76	14,74	17,33
114	0,89	0,79	0,89	26,72	23,58	106,55
141	0,73	1,04	0,91	21,92	125,16	27,40
144	0,48	0,36	0,55	14,27	42,67	66,36
411	0,53	0,46	0,63	63,71	13,82	18,76
414	0,76	0,66	0,80	91,57	19,87	95,59
441	0,98	1,16	1,04	117,36	139,52	31,31
444	0,99	1,05	1,01	118,30	126,00	121,39
222	0,76	0,80	0,85	45,85	47,78	50,84
225	0,89	0,70	0,86	53,67	42,24	128,57
252	0,83	0,84	0,89	49,86	126,24	53,26
255	0,67	0,72	0,78	40,26	107,93	117,68
522	0,44	0,64	0,66	66,42	38,12	39,32
525	1,01	1,32	1,10	151,44	79,44	165,23
552	0,81	1,21	0,99	121,23	182,16	59,63
555	0,31	0,20	0,40	46,83	30,28	59,69

Коэффициенты к дозам фосфорных удобрений (ПК_P) показывают, что дозы фосфорных удобрений также требуют уменьшений. Так, в вариантах опыта 555, 144

дозы фосфорных удобрений рекомендуется уменьшить в 3-5 раз (табл. 4). Эти варианты отличаются высокими дозами фосфорно-калийных удобрений - 120-150 кг/га. Поправочные коэффициенты по фосфору приближаются к единице в вариантах опыта 552, 525, 252, 444, 441, 141. Таким образом, дозы фосфорных удобрений рекомендуется оставлять без изменений, если они относятся к низким на фоне высоких азотно-калийных удобрений или, наоборот, дозы фосфорных удобрений высокие (> 90 кг/га), а дозы сопутствующих удобрений менее 60 кг/га.

Варианты опыта 444, 441 требуют наименьшей корректировки доз, что полностью соответствует результатам тканевой диагностики растений. В этих вариантах в фенологической фазе кущения отмечается сбалансированное оптимальное содержание макроэлементов.

Рекомендуется также уменьшить дозы калийных на фоне высоких доз азотно-фосфорных удобрений и не изменять низкие дозы калийных удобрений на фоне высоких доз азотно-фосфорных удобрений, или наоборот, высокие дозы калийных на фоне низких доз азотно-фосфорных удобрений (табл. 4).

Расчет поправочных коэффициентов к дозам азотных удобрений в 1991 г. показал, что практически во всех вариантах опыта дозы удобрений необходимо было увеличить в 2-3 раза (табл. 5). Это особенно характерно для вариантов опыта 300, 303, 333, 111, 141, 411, 414, 414, 225, 522, 525, 552, 555, т.е. увеличения требуют даже умеренные и высокие дозы азотных удобрений (> 90 кг/га). Поправочный коэффициент по азоту приближается к единице в варианте опыта 144. Этот вариант характеризуется низкими дозами азотных удобрений в сочетании с высокими дозами фосфорных и калийных удобрений.

Дозы фосфорных и калийных удобрений не требуют какой-либо корректировки (табл. 5). Лишь в варианте опыта 144 дозы фосфорных удобрений рекомендуется уменьшить в 2 раза. Этот вариант отличается высокими дозами фосфорно-калийных удобрений - 120 кг/га.

В работе определена статистическая связь между урожайностью овса и содержанием в растениях азота, фосфора и калия посредством парных коэффициентов корреляции.

Для 1990 г. получено уравнение множественной регрессии

$$Y = 31,4 + P 13,8 + K 1,96,$$

где Y – урожайность, ц/га; P – содержание фосфора, мг/кг; K – содержание калия, мг/кг.

Фосфор сыграл положительную роль в увеличении доли зерна и, следовательно, в повышении урожая. В большинстве вариантов опыта содержание фосфора в растениях было оптимальным. Калий также оказал положительное влияние на растения. Он способствовал усилению прочности соломины и уменьшению полегания растений.

Уже при малых дозах азотных удобрений содержание азота в тканях растений становилось оптимальным. Дальнейшее увеличение доз азотных удобрений приводило к возрастанию вегетативной массы и усиливало полегание, что привело к большим хозяйственным потерям при уборке.

Для засушливого 1991 г. уравнение множественной регрессии имеет вид

$$Y = 26,6 + N 1,75 + P 9,19 + K 4,39,$$

где Y – урожайность, ц/га; P – содержание фосфора в тканях растений, мг/кг; K – содержание калия, мг/кг; N – содержание азота, мг/кг.

Таблица 5

**Поправочные коэффициенты к дозам минеральных удобрений
(фенологическая фаза кушения, 1991 г.)**

Вариант опыта, NPK	ПК _N	ПК _P	ПК _K	Дозы минеральных удобрений после корректировки, кг/га		
				Д _N	Д _P	Д _K
000	1,96	0,62	1,07	0,00	0,00	0,00
003	2,33	0,60	1,12	0,00	0,00	100,88
030	2,27	1,03	1,33	0,00	92,38	0,00
033	2,70	0,95	1,37	0,00	85,86	123,43
300	3,45	1,59	1,76	310,22	0,00	0,00
303	3,52	1,10	1,57	317,14	0,00	141,31
333	2,55	1,01	1,37	229,87	90,89	123,43
111	2,02	0,93	1,23	60,60	27,86	37,00
114	1,50	0,98	1,14	45,01	29,30	136,29
141	1,82	1,00	1,22	54,52	120,44	36,65
144	1,02	0,52	0,81	30,74	62,64	97,41
411	1,88	0,96	1,22	225,92	28,76	36,52
414	1,73	1,08	1,23	207,52	32,36	147,72
441	1,54	0,78	1,07	184,75	94,18	31,95
444	1,45	0,71	1,01	174,27	84,73	121,01
222	1,58	1,18	1,23	94,64	70,65	73,75
225	1,93	1,11	1,29	115,72	66,39	193,12
252	1,64	1,18	1,25	98,37	176,57	74,70
255	1,53	0,83	1,08	91,76	123,77	162,10
522	2,74	1,14	1,46	410,81	68,50	87,74
525	1,81	0,90	1,18	272,05	54,08	176,70
552	2,31	0,93	1,29	346,34	138,91	77,30
555	1,94	0,72	1,12	291,57	107,57	167,56

При повышенном содержании азота в тканях растений стебли становятся менее хрупкими, лучше ветвятся, листья нижнего яруса не желтеют. Последнее обстоятельство способствует увеличению фотосинтезирующего аппарата.

Содержание фосфора и калия смягчает отрицательное действие засухи и снижает коэффициент водопотребления.

Таким образом, имея данные тканевой диагностики в фазу кушения, можно с заблаговременностью 2-2,5 месяца определить примерный уровень урожайности овса. Конечно, полученные уравнения требуют уточнения, так как получены по результатам двух лет. Однако их оценочное применение может быть оправдано тем, что факторный опыт закладывался в четырехкратной повторности.

Библиографический список

1. *Церлинг В.В.* Диагностика питания сельскохозяйственных культур / В.В. Церлинг. М., 1990.