

Л.И.Шофман, доктор сельскохозяйственных наук

Минская ГОСХОС

УДК 633.2/3.03:631.531.04

## Некоторые аспекты взаимосвязи плотности ценоза с продуктивностью смешанных посевов однолетних кормовых культур

*Не претендуя на всестороннее объяснение многообразия продукционного процесса в смешанных посевах, выращиваемых без четкого размещения в рядах, используя методы линейного программирования и статистической биометрии, можно в практических целях с высокой степенью вероятности прогнозировать сборы сухого вещества в зависимости от количества растений на единице площади.*

*Not pretending to a comprehensive analysis of the diversity of the productivity process of mixed crops, grown without strict placing in rows, it is possible to forecast with the sufficient degree of correctness the dry matter content depending on the amount of plants per square unit, using the methods of linear programming and statistical biometry for such forecasts.*

Переход к адаптивной системе земледелия требует широкого применения смешанных посевов кормовых культур, способных обеспечить более полную биологизацию и экологизацию интенсификационных процессов.

В основе концепции смешанных посевов лежит учение о растительных сообществах, сформулированное впервые С.И.Кулжинским в 1884 г. По М.В.Маркову, та часть фитоценологии, которая изучает искусственно созданные растительные сообщества, определяется как агрофитоценология. Агрофитоценоз – это биологическая система, развивающаяся в пространстве и времени, все компоненты которой связаны сложными взаимоотношениями. В процессе своего развития агрофитоценозы постоянно подвергаются воздействию регулируемых и нерегулируемых внешних факторов. К ним можно отнести: метеорологические (ливни, засуха, заморозки и др.), биогенные (болезни, вредители, повреждение птицами), антропогенные (обработка почвы, использование удобрений, средств защиты и др.). Отношение компонентов агрофитоценоза к перечисленным воздействиям не бывает одинаковым, в связи с чем каждый фактор обязательно производит перестройку агрофитоценоза. Более двухсот с половиной прямых и косвенных факторов определяют показатель урожайности в смешанных посевах. Доминантами полевых растительных сообществ являются культурные растения двух и более видов, сортов. Они объекты постоянной заботы со стороны человека, главная из которых – создание оптимальной густоты или плотности популяции, что в практической агрономии определяется как норма высева.

Согласно А.А.Ничипоровичу смешанные посевы должны обладать такой плотностью, которая позволяет поглощать энергию солнечной радиации наиболее полно и использовать ее на фотосинтез с высокими коэффициентами полезного действия.

Создавая в производственных условиях смешанные посевы, ставится задача ежегодно получать стабильные

урожаи разного целевого назначения путем компенсации недостатков одной из культур преимуществом другой. Таким образом повышают белковость вегетативной массы, устойчивость к полеганию и другие хозяйственно-полезные признаки. В практике возделывания смешанных посевов принято механическое соединение культур с разными нормами высева, с одновременным высевом без размещения по рядкам. Последствия такого высева труднопредсказуемы, поскольку не позволяют изначально поставить все компоненты в оптимальные условия по глубине заделки и равномерному размещению по площади. В таких условиях густота стояния растений может быть основным фактором, позволяющим спрогнозировать урожайность смесей, поскольку в конкретных экологических условиях она определяется сопряжением густоты стеблестоя и массой одного растения.

Привлечение математических методов, в частности моделирования, позволяет выявить оптимальные сочетания культур, входящих в состав ценоза, глубже понять их участие на всех этапах формирования урожая.

Обобщая многолетние прикладные исследования со смешанными культурами разного целевого назначения, понимая невозможность создания системы программно-целевого управления сложным агрофитоценозом, была поставлена задача предложить его математическую модель методом линейного программирования, установить взаимосвязь между густотой компонентов, в него входящих, и сбором сухого вещества с одного гектара. Каждая кормовая культура, как целый организм, является саморегулируемой системой с оптимальным распределением в ней биохимических компонентов, сведенных в два крупных блока — сухое вещество и воду.

Весь состав растений можно выразить через сумму питательных веществ, которые обозначаются —  $a_1, a_2 \dots a_n$

$$a_n = \sum_{i=1}^n a_i$$

Количество биохимических веществ в растении распределяется следующим образом:

- $a_1$  — количество воды в единицах массы;  
 $a_2$  — количество азотсодержащих соединений в тех же единицах (протеин);  
 $a_3$  — количество жирных кислот;  
 $a_4$  — количество клетчатки;  
 $a_5$  — количество сахаров;  
 $a_6$  — количество минеральных элементов;  
 $a_i$  — .....;  
 $a_n$  — .....;

Тогда массу растения можно записать в виде:

$$m = \sum_{i=1}^n a_i \quad (1)$$

Известно, что на количество питательных веществ в составе кормовых культур накладываются определенные ограничения: содержание воды не превышает 98% массы растений, азотсодержащих веществ — 4,7%, жирных кислот — 1,6, минеральных веществ — 7% и т. д. Зная ограничения, можно установить оптимальное сочетание питательных веществ в культуре на всех фазах развития. Составляем ряд ограничений:

$$\begin{aligned}
 6 \leq B \leq 98 \\
 1,2 \leq П \leq 4,7 \\
 0,2 \leq Ж \leq 1,6 \\
 2 \leq K \leq 18 \\
 0,8 \leq З \leq 7,
 \end{aligned} \quad (2)$$

где В — разные фракции воды;

П — множество азотсодержащих соединений, определяемое как протеин;

Ж — жирные кислоты, сырой жир;

К — углеводы, включающие клетчатку с лигниновым комплексом;

З — зола и т. д.

В этом случае масса одного растения выражается неравенством

$$m = \sum_{i=1}^n a_i \rightarrow B + П + Ж + K + З \dots \leq 100. \quad (3)$$

Эта простейшая задача линейного программирования с двухсторонними ограничениями решается симплекс-методом с заменой переменных и вводом дополнительных неотрицательных чисел. Она имеет множество решений, которые можно получить, меняя порядок ввода векторов в базис. Ее решение позволяет уточнить: как меняется количество одних питательных веществ с изменением других, как изменится их оптимальное соотношение при изменении ограничений. Эта часть задачи касается лишь одного условного кормового растения. В то же время урожайность — это масса множества растений, расположенных на единице площади.

В одновидовом посеве урожайность вегетативной массы можно выразить следующим уравнением:

$$U_v = m_0 \cdot (-\lambda \sqrt{q}), \quad (4)$$

где  $m_0$  — масса одного растения при отсутствии конкуренции,

$q$  — количество растений на единице площади,

$\lambda$  — показатель внутривидовой конкуренции.

В смешанных посевах урожайность зависит не только от интенсивности внутривидовых, но и межвидовых кон-

курентных отношений. Общую урожайность смесей можно представить как сумму урожайностей отдельных культур по компонентам:

$$Y_c = \sum^n m_0 q (-\sum^n \gamma \sqrt{q^n}), \quad (5)$$

где  $\gamma$  — показатель межвидовой конкуренции.

Если учесть, что масса одного растения состоит из воды и сухого вещества, то уравнение принимает следующий вид:

$$Y_c = \sum^n (B + CB) \cdot q (-\sum^n \gamma^n \cdot \sqrt{q^n}). \quad (6)$$

Данное уравнение позволило проанализировать результаты опытов с трехкомпонентными смесями: люпино-подсолнечнико-овсяной и люпино-пелюшко-овсяной. Коэффициенты внутривидовой конкуренции в приведенных смесях были стабильными, поскольку рассчитывались по предварительно составленным нормам высева компонентов: люпина — 600, подсолнечника — 300, пелюшки — 300, овса — 900 и 1200 тысяч всхожих семян на гектар. Показатели внутривидовой конкуренции составили: по люпину — 0,0472, пелюшке — 0,0231, подсолнечнику — 0,0917, овсу — 0,1326 и 0,2114.

Остальные значения взаимоотношений культур в составе смесей представлены в конкурентной матрице:

$$K = \left\{ \begin{array}{cccc} & \gamma_1 & \gamma_2 & \gamma_3 \\ \text{люпин} & 0,27 & 0,0413 & 0,0420 & 0,0027 \\ \text{подсолнечник} & 1,34 & 0,0127 & 0,0162 & 0,0132 \\ \text{овес} & 1,16 & 0,0073 & 0,0401 & 0,0984 \end{array} \right\} \quad (7)$$

В люпино-подсолнечнико-овсяной смеси при соотношении норм высева 1:0,5:1,5 межвидовая конкуренция значительно слабее внутривидовой. Отмечается взаимное стимулирование развития люпина и овса, поскольку  $\gamma_{1,3} > 0$  и  $\gamma_{3,1} > 0$ .

Подсолнечник в составе смеси сильно угнетает люпин, особенно на ранних фазах развития, но при соотношении люпина к подсолнечнику 1:0,5 их конкурентное взаимодействие выравнивается ( $\gamma_{1,2}$  и  $\gamma_{2,1}$  примерно равны).

Взаимоотношение культур в люпино-пелюшко-овсяной смеси при соотношении норм высева 1:0,5:2 определялось следующей конкурентной матрицей:

$$K = \left\{ \begin{array}{cccc} & \gamma_1 & \gamma_2 & \gamma_3 \\ \text{люпин} & 1,76 & 0,7124 & 2,4117 & 3,4207 \\ \text{пелюшка} & 1,44 & 0,4279 & 1,3296 & 1,2442 \\ \text{овес} & 2,03 & -2,3115 & -1,2134 & 0,9312 \end{array} \right\} \quad (8)$$

В данной смеси имеет место как угнетение, так и благоприятное влияние культур друг на друга. Так, люпин и пелюшка положительно действовали на развитие овса. Овес же ухудшал условия формирования урожая люпина и подсолнечника, что объективно выражается в уменьшении доли бобовых в общем сборе сухого вещества (табл. 1).

На примере бинарной вико-ржаной смеси рассмотрим количественную зависимость между густотой стояния растений и сбором сухого вещества с гектара. В одновидовом посеве существует прямая положительная связь: с загущением цензозов повышается сбор сухого вещества. Включение в состав смеси озимой вики с нормой высева 25% от оптимальной приводит к обратной взаимосвязи.

Таблица 1. Продуктивность смешанных посевов (среднее за 3 года)

Культура, смесь	Норма высева, тыс. шт./га	Сбор сухого вещества, ц		В урожае содержится		
		всего	в т. ч. бобовых	к. ед., ц	перевар. протеина, ц	обменной энергии, ГДж
Люпин	1200	36,4	36,4	34,1	4,91	33,6
Подсолнечник	300	36,9	-	23,7	1,86	30,4
Люпин + подсолнечник + овес	600+300+900	43,1	17,7	35,2	3,71	35,4
Люпин + пелюшка + овес	600+300+1200	44,2	17,2	35,3	4,21	35,6
НСР, ц/га		0,7				

Таблица 2. Элементы взаимосвязи между густотой и сбором сухого вещества в бинарной вико-ржаной смеси

Соотношение норм высева	Коэффициент корреляции	Коэффициент детерминации	Уравнения регрессии	Доверительный интервал коэфф. регрессии
Рожь озимая — 100%	0,787 <sup>±</sup> 0,19	0,62	y=0,02x+46,9	-0,03 <sup>d</sup> ≤d <sup>≤</sup> 0,07
Рожь оз. 75% + вика оз. 25%	-0,572 <sup>±</sup> 0,33	0,33	y=-0,129x+100,7	-0,427 <sup>d</sup> ≤d <sup>≤</sup> 0,169
Рожь оз. 50% + вика оз. 50%	-0,129 <sup>±</sup> 0,40	0,02	y=-0,015x+59,6	-0,014 <sup>d</sup> ≤d <sup>≤</sup> 0,019
Рожь оз. 25% + вика оз. 75%	0,502 <sup>±</sup> 0,35	0,25	y=0,138x+3,08	-1,51 <sup>d</sup> ≤d <sup>≤</sup> 3,78

Примечание. y — сбор сухого вещества, ц/га; x — густота, шт./м<sup>2</sup>.

В смеси, составленной из расчета половинных норм высева компонентов, корреляция изучаемых признаков очень слабая. И она вновь возрастает и становится положительной с увеличением нормы высева вика (табл. 2).

Другим показателем, иллюстрирующим зависимость между двумя признаками, является коэффициент детерминации. Он представляет собой квадрат коэффициента корреляции и означает долю изменчивости одного признака под непосредственным влиянием другого. Так, в вико-ржаной смеси с соотношением 75% ржи + 25% вика в 33% случаев сбор сухого вещества обусловлен изменением густоты стояния растений.

Приведенные в таблице расчетные коэффициенты указывают на величину и степень взаимосвязи изменчивости признаков, но не дают возможности рассуждать о том, как меняется резульативный признак при изменении факториального на единицу измерения, что особенно важно в практических целях. Для этого нами рассчитаны уравнения прямолинейной регрессии. Числовые величи-

ны при x — коэффициенты регрессии, которые указывают на количественное изменение резульативного признака y. Так, например, увеличение густоты ценоза в варианте 75% ржи + 25% вика на 1 растение сверх оптимального вызывает снижение сбора вещества с 1 га на 12,9 кг. Числовые величины в правой части уравнений (100,7; 59,6; 3,08) указывают на теоретический уровень признака y, который не зависит от влияния признака x (густоты ценоза).

На основании уравнений регрессии можно рассчитать сбор сухого вещества в вико-ржаной смеси при разной плотности ценоза (табл. 3)

Таким образом, не претендуя на всестороннее объяснение многообразия продукционного процесса в смешанных посевах, выращиваемых без четкого размещения в рядах, используя методы линейного программирования и статистической биометрии, можно в практических целях с высокой степенью вероятности прогнозировать сборы сухого вещества в зависимости от количества растений на единице площади.

Таблица 3. Теоретически рассчитанный сбор сухого вещества в зависимости от плотности бинарного ценоза

Кол-во растений на 1 м <sup>2</sup>	Сбор сухого вещества, ц/га			
	75% рожь+25% вика	50% рожь+50% вика	25% рожь+75% вика	рожь 100%
200	74,9	56,6	30,7	50,8
250	68,5	55,9	37,6	51,8
300	62,0	55,1	44,5	52,8
350	55,6	54,4	51,4	53,8
400	49,1	53,6	58,3	54,8
450	42,7	52,8	65,2	55,8
500	36,2	52,1	72,1	56,8
550	29,8	51,4	78,9	57,8

*Литература*

1. Булаткин Г.А. Эколого-энергетические аспекты продуктивности агроценозов. – Пушкино, 1986 – 208 с.
  2. Жученко А.А. Биологизация интенсификационных процессов как основа перехода к адаптивному развитию АПК // Роль адаптивной интенсификации земледелия в повышении эффективности аграрного производства. – Жодино, 1998. – Т. 2. – С. 3-10.
  3. Ламан Н.А., Самсонов В.П. Методическое руководство по исследованию смешанных агрофитоценозов – Минск: Наука і тэхніка, 1996 – 101 с.
  4. Ничипорович А.А. Фотосинтетическая деятельность растений как основа их продуктивности в биосфере и земледелии // Фотосинтез и продукционный процесс. – Москва: 1988. – С. 29-39.
  5. Чернобривенко С. М. Биологическая роль растительных выделений и межвидовые взаимоотношения в смешанных посевах. – Москва: Сов. наука, 1956 – 217 с.
  6. Юрин П.В. Совместные одновидовые посевы сельскохозяйственных культур. – Москва: Изд. МГУ, 1966 – 186 с.
-