

УДК 633.15:581/132:631.559:631.81.095.337

## ОЦЕНКА ФИЗИОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ РАСТЕНИЙ ГОРОХА НА ОСНОВЕ ПРИМЕНЕНИЯ НЕ ИНВАЗИВНОГО МЕТОДА В УСЛОВИЯХ ДОСТАТОЧНОГО УВЛАЖНЕНИЯ СТАВРОПОЛЬЯ

© 2023 Е.В. Письменная

Ставропольский государственный аграрный университет, г. Ставрополь, Россия

Статья поступила в редакцию 03.12.2023

В статье приводятся результаты исследования влияния удобрений по вариантам опыта на физиологическое состояние сортов гороха - Саламанка, Мадонна и Родник, определенных спектро-радиометром PolyPen RP 410 NIR. Исследование проводилось в марте-июне 2022 г. и 2023 г. на черноземе выщелоченном мощном малогумусном тяжелосуглинистом на опытном участке учебно-опытного хозяйства Ставропольского государственного аграрного университета. Площадь 3-х делянок составляет 3,6 га. Метеорологические условия характеризуются умеренной влажностью, но неравномерным выпадением осадков в течение всего года. Среднегодовое количество осадков составляет 551 мм, сумма активных температур - 3000-3200 °С. ГТК равно 1,1-1,3. Агрохимический состав почвы следующий: содержание гумуса в пахотном горизонте составляет 4,26 %, рН - 5,81, содержание форм подвижного фосфора - 28,3 мг/кг, подвижного калия - 250 мг/кг, аммонийного азота - 14,2 мг/кг, нитратного азота - 5,8 мг/кг. Наиболее восприимчивыми к внешним воздействующим факторам является сорт Родник. Средние отклонения вегетационных индексов (соотношения хлорофилла, концентрации каротиноидов и азота) имеют максимальные значения по всем вариантам опыта и исследуемым сортам. И как результат - более низкие значения содержания белка в горохе (16-57-22,42 %). Поэтому сорт Родник не рекомендуется возделывать на низком агрофоне ( $(N_{10}P_{10}K_{10})$  + водорастворимое удобрение). При возделывании сорта по рекомендованной и расчетной схеме условия окружающей среды будут всегда доминировать. Сорт Саламанка не рекомендуется возделывать на низком агрофоне и рекомендованном, т.к. это скажется на физиологическом состоянии растений - разбалансированности концентрации хлорофилла и азота в листьях растений и, как следствие, проявлению стресса в фазах бутонизации и цветение. Содержание белка составляет 18,52-22,70 %. Сорт Мадонна хорошо переносит низкий агрофон, а также рекомендованный. Вегетационные показатели относительно однородны. При проявлении неблагоприятных внешних условий на фоне повышения доз азота и фосфора (при  $N_{20}P_{45}K_{30}$ ) физиологическое состояние растений станет неустойчивым. Содержание белка составляет 19,30-21,61 %. Следовательно, для получения стабильных урожаев сортов Родник и Саламанка целесообразно возделывать их на рекомендованном ( $N_{15}P_{30}K_{30}$ ) и расчетном агрофоне ( $N_{20}P_{45}K_{30}$ ), а сорта Мадонна - на рекомендованном ( $N_{15}P_{30}K_{30}$ ).

**Ключевые слова:** оценка, физиологическое состояние, растения гороха, не инвазивный метод, достаточное увлажнение

DOI: 10.37313/2782-6562-2023-2-4-8-19

EDN: YPFRCR

### ВВЕДЕНИЕ

Для оптимального роста растений гороха требуется широкий спектр питательных веществ. Азот, фосфор и калий являются основными макроэлементами. Химические элементы стимулировать развитие корневой системы, рост, побегов, цветение и плодоношение растений. Макроэлементы влияют на формирование морфологических признаков, протекание биохимических реакций и процесса обмена веществ в организме растений - фотосинтез. Так, азот регулирует широкий спектр ферментативной активности растений [1, 2]. Фосфор влияет на разветвление корней, формирование цветков, семян и передачу энергии [3, 4]. Калий

*Письменная Елена Вячеславовна, доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры землеустройства и кадастра. E-mail: pismennaya.elena@bk.ru*

регулирует водный баланс, процесс цветения, качество формирования зерна, биосинтез растительных белков, ферментативный катализ и кинетику фотосинтеза [5].

Микроэлементы, используемые в комплексных удобрениях, являются необходимыми элементами питания, без которых растения не могут полноценно развиваться [6]. Они также входят в состав важнейших физиологически активных веществ и участвуют в процессе синтеза белков, углеводов, витаминов, жиров [7, 8].

Под влиянием микроэлементов растения становятся более устойчивыми к неблагоприятным условиям атмосферной и почвенной засухи, пониженным и повышенным температурам, поражению вредителями и болезнями [9, 10].

На основе использования в научно-исследовательской работе теории фотосинтетической продуктивности растений и принципов

оптимизации биофизических веществ, можно определять вегетационные индексы, занимаясь программированием и/или корректировкой урожая на каждом этапе развития онтогенеза сельскохозяйственной культуры. Вегетационные индексы имеют обширную практику применения в растениеводстве и опыт верификации преимущественно зарубежном.

Применение спектрального анализа является одним из распространенных методов по определению физиологического состояния растений. Кроме того, спектральный анализ используют для обнаружения, мониторинга и оценки различных заболеваний сельскохозяйственных культур [11-13]. Большинство этих исследований сосредоточено на патогенах, таких как мучнистая роса, ложная мучнистая роса или листовая ржавчина. Эти заболевания характеризуются изменением цвета листьев, вызванное уменьшением количества пигментов, поглощающих свет, что увеличивает отражательную способность листьев [14-16].

Изменения элементов пигментного комплекса могут быть обнаружены с помощью и гиперспектрального метода.

**Цель наших исследований** заключалась в изучении вегетационных индексов, полученных гиперспектральной камерой, отражающих влияние удобрений на физиологическое состояние растений гороха, описываемое через хлорофилл а [17] и хлорофилл b [18]; азот [18]; CRI<sub>550</sub> - каротиноиды [19]; SIPI (эффективность использования фотосинтетически активной радиации) [20], содержания азота (N<sub>550</sub>) [19] и белка (%) зерна кукурузы.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Используемая в полевых условиях гиперспектральная съемка, как не инвазивный метод, обладает большим потенциалом для получения обширной спектральной информации (вегетационных индексов - PSSRa, PSSRb, CRI<sub>550</sub>, SIPI, N<sub>550</sub>), благодаря чувствительности прибора - спектрорадиометра - к отражательной способности растений сортов гороха к различным биофизическим показателям состояния, полученной в режиме реального времени на поле (on-line).

Краткое описание используемых вегетационных индексов:

1. PSSRa - Pigment Specific Simple Ratio (chlorophyll index) - индекс исследует потенциал ряда спектральных подходов (в красном диапазоне) для количественного определения хлорофилла а.

2. PSSRb - Pigment Specific Simple Ratio (chlorophyll index) - индекс исследует потенциал ряда спектральных подходов (в красном диапа-

зоне) для количественного определения хлорофилла b.

3. PSSRa / PSSRb - соотношение пигмент-белковых комплексов (ПБК) в листе растения.

4. CRI<sub>550</sub> - Carotenoid Reflectance Indices (carotenoid indices) - индекс отражательной способности, чувствительный к каротиноидам в листьях растений.

5. SIPI - Structure Insensitive Pigment Index - индекс отражает эффективность, с которой растение способно использовать поступающий свет для фотосинтеза.

6. N<sub>550</sub> - Nitrogen Index - индекс отражательной способности, чувствительный к концентрации азота в листьях растений.

Содержание хлорофиллов а и b, а также каротиноидов и других показателей измеряли в листьях исследуемых сортов гороха.

Определение белка в зерне гороха производится по методу Кьельдаля (в соответствии с ГОСТом 10846-91).

Получение цифровых показателей осуществлялось с помощью спектрорадиометра PolyPen RP 410 NIR (Чехия), методика осуществления работы - на основе ассимиляции зарубежного опыта, обработка данных - в программе Statistica.

Метеорологические условия зоны достаточного увлажнения характеризуются умеренной влажностью, но неравномерным выпадением осадков в течение всего года. Согласно многолетним данным, среднегодовое количество осадков составляет 551 мм, сумма активных температур составляет 3000-3200 °С. ГТК равно 1,1-1,3. Среднегодовая температура в 2022 г. и в 2023 г. составляла 20,8°С и 17,5°С соответственно. В 2022 г. количество осадков было ниже на 44,5 мм, а в 2023 г. – выше на 2,4 мм в сравнении с среднемноголетними показателями.

Опыт двухфакторный заложен в производственных условиях по методу расщепленных делянок: фактор А - сорт гороха (Саламанка, Мадонна и Родник), В - система питания. Система питания (с учетом агрохимических показателей опытного участка):

Рекомендованная (N<sub>15</sub>P<sub>30</sub>K<sub>30</sub>):

Под предпосевную культивацию NPKS 10:20:20:6 (NPKS-2) 150 кг/га;

Минимальная (хозяйственный контроль) (N<sub>10</sub>P<sub>10</sub>K<sub>10</sub>) + водорастворимое удобрение:

При посеве НАФК 62,5 кг/га + подкормка в фазу 1-3 пары листьев СТАРТ 15:30:15+2MgO+MЭ, 11:40:11+2MgO+MЭ, 13:40:13+MЭ;

Расчетная на 2,5 т/га (N<sub>20</sub>P<sub>45</sub>K<sub>30</sub>):

Под культивацию Диааммофоска (N<sub>11</sub>P<sub>30</sub>K<sub>30</sub>) 110 кг/га, при посеве Аф (N<sub>3</sub>P<sub>15</sub>) 25 кг/га + подкормка в фазу 1-3 пары листьев СТАРТ 15:30:15+2MgO+MЭ, 11:40:11+2MgO+MЭ, 13:40:13+MЭ.

Исследование проводилось в марте-июне 2022 г. и 2023 г. на черноземе выщелоченном мощном малогумусном тяжелосуглинистом. Агрохимическая характеристика опытного участка учебно-опытного хозяйства Ставропольского государственного аграрного университета: содержание гумуса в пахотном горизонте составляет 4,26 %, pH - 5,81, содержание форм подвижного фосфора - 28,3 мг/кг, подвижного калия - 250 мг/кг, аммонийного азота - 14,2 мг/кг, нитратного азота - 5,8 мг/кг.

Площадь одной делянки составляет 1,2 га.

### РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Сопоставление отклонений от средних значений индексов в фазе 1-3 настоящих листьев по вариантам опытов показало, что наименьшие значения отмечены по варианту с расчетом урожая 2,5 т/га, где значение PSSRa составило 0,185; PSSRb - 0,154; PSSRa/PSSRb - 0,004; CRI<sub>550</sub> - 0,121; SIPI - 0,007; N<sub>550</sub> - 0,003 (таблица 1).

Увеличение отклонений от среднего значения отмечено по рекомендованной схеме внесения удобрений (N<sub>15</sub>P<sub>30</sub>K<sub>30</sub>): PSSRa составил 0,156; PSSRb - 0,159; PSSRa/PSSRb - 0,011; CRI<sub>550</sub> - 0,181; SIPI - 0,008; N<sub>550</sub> - 0,006. А наибольшие - на хозяйственном контроле: соответственно 0,182; 0,086; 0,020; 0,858; 0,552; 0,293. Величина показателя SIPI по всем вариантам опыта составляет

0,961-1,005, что указывает на здоровое физиологическое состояние растений.

При рассмотрении данной вегетативной фазы и в дальнейшем отклонения вегетативных показателей от средних значений вызваны не только системой питания, но и реакцией сортов на внешние воздействующие факторы и сортовой спецификой гороха.

Анализ наименьших отклонений от среднего значения индексов отмечен в фазе бутонизация по расчетной схеме на 2,5 т/га (N<sub>20</sub>P<sub>45</sub>K<sub>30</sub>). Они составили по PSSRa - 0,041, PSSRb - 0,058; PSSRa/PSSRb - 0,007; CRI<sub>550</sub> - 0,167; SIPI - 0,001; N<sub>550</sub> - 0,010 (таблица 2).

Далее идет увеличение отклонений от среднего значения по рекомендованной схеме (N<sub>15</sub>P<sub>30</sub>K<sub>30</sub>). Показатели составили по PSSRa - 0,103, PSSRb - 0,079; PSSRa/PSSRb - 0,005; CRI<sub>550</sub> - 0,104; SIPI - 0,129; N<sub>550</sub> - 0,006. Наибольшие показатели по схеме **хозяйственный контроль** соответственно - 1,653; 1,330; 0,082; 0,041; 0,431; 0,005.

В фазе бутонизация N<sub>550</sub> по всем схемам имеет более низкое значение, чем в фазе 1-3 настоящих листьев. Показатель SIPI также снижен. Величина SIPI по сортам Родник и Саламанка в опыте хозяйственного контроля составляет 0,015 и 0,010, что указывает на стресс растений. Возможно, более такие низкие значения отражают отзыв физиологического состояния сортов гороха на минеральное питание.

**Таблица 1.** Вегетационные индексы, отражающие развитие гороха, фаза 1-3 настоящих листьев

Сорт	Значение индекса					
	PSSRa	PSSRb	PSSRa/PSSRb	CRI <sub>550</sub>	SIPI	N <sub>550</sub>
<b>Минимальная (хозяйственный контроль) (N<sub>10</sub>P<sub>10</sub>K<sub>10</sub>) + водорастворимое удобрение</b>						
Мадонна	4,432	3,843	1,153	2,234	0,974	0,298
Родник	4,479	3,884	1,153	2,195	1,005	0,293
Саламанка	4,865	4,056	1,199	2,263	0,981	0,336
<i>Среднее значение</i>	<i>4,592</i>	<i>3,928</i>	<i>1,168</i>	<i>1,585</i>	<i>1,407</i>	<i>0,534</i>
<i>Отклонение от среднего значения</i>	<i>0,182</i>	<i>0,086</i>	<i>0,020</i>	<i>0,858</i>	<i>0,552</i>	<i>0,293</i>
<b>Рекомендованная (N<sub>15</sub>P<sub>30</sub>K<sub>30</sub>)</b>						
Мадонна	4,485	3,826	1,172	2,135	0,973	0,320
Родник	4,933	4,262	1,157	2,581	0,983	0,302
Саламанка	4,679	4,104	1,140	2,214	0,961	0,312
<i>Среднее значение</i>	<i>4,699</i>	<i>4,064</i>	<i>1,156</i>	<i>2,310</i>	<i>0,972</i>	<i>0,311</i>
<i>Отклонение от среднего значения</i>	<i>0,156</i>	<i>0,159</i>	<i>0,011</i>	<i>0,181</i>	<i>0,008</i>	<i>0,006</i>
<b>Расчетная на 2,5 т/га (N<sub>20</sub>P<sub>45</sub>K<sub>30</sub>)</b>						
Мадонна	4,440	3,805	1,166	2,086	0,971	0,317
Родник	4,802	4,090	1,174	2,407	0,979	0,307
Саламанка	4,330	3,681	1,176	2,184	0,990	0,312
<i>Среднее значение</i>	<i>4,524</i>	<i>3,859</i>	<i>1,172</i>	<i>2,226</i>	<i>0,980</i>	<i>0,312</i>
<i>Отклонение от среднего значения</i>	<i>0,185</i>	<i>0,154</i>	<i>0,004</i>	<i>0,121</i>	<i>0,007</i>	<i>0,003</i>

Примечание: PSSRa - хлорофилл а; PSSRb - хлорофилл b; CRI<sub>550</sub> - каротиноиды; SIPI - эффективность использования ФАР; N<sub>550</sub> - азот.

**Таблица 2.** Вегетационные индексы, отражающие развитие гороха, фаза бутонизация

Сорт	Значение индекса					
	PSSRa	PSSRb	PSSRa/ PSSRb	CRI <sub>550</sub>	SIPI	N <sub>550</sub>
<b>Минимальная (хозяйственный контроль) (N<sub>10</sub>P<sub>10</sub>K<sub>10</sub>) + водорастворимое удобрение</b>						
Мадонна	4,350	3,608	1,206	2,301	0,983	0,029
Родник	0,580	0,578	1,003	2,236	0,010	0,037
Саламанка	0,680	0,652	1,042	2,356	0,015	0,043
<i>Среднее значение</i>	<i>1,870</i>	<i>1,613</i>	<i>1,084</i>	<i>2,298</i>	<i>0,336</i>	<i>0,036</i>
<i>Отклонение от среднего значения</i>	<i>1,653</i>	<i>1,330</i>	<i>0,082</i>	<i>0,041</i>	<i>0,431</i>	<i>0,005</i>
<b>Рекомендованная (N<sub>15</sub>P<sub>30</sub>K<sub>30</sub>)</b>						
Мадонна	4,419	3,844	1,149	2,392	0,976	0,286
Родник	4,705	4,051	1,161	2,487	0,980	0,296
Саламанка	4,597	3,991	1,151	2,673	1,268	0,302
<i>Среднее значение</i>	<i>4,574</i>	<i>3,962</i>	<i>1,154</i>	<i>2,517</i>	<i>1,075</i>	<i>0,295</i>
<i>Отклонение от среднего значения</i>	<i>0,103</i>	<i>0,079</i>	<i>0,005</i>	<i>0,104</i>	<i>0,129</i>	<i>0,006</i>
<b>Расчетная на 2,5 т/га (N<sub>20</sub>P<sub>45</sub>K<sub>30</sub>)</b>						
Мадонна	4,377	3,728	1,174	2,290	0,972	0,308
Родник	4,399	3,715	1,184	2,188	0,974	0,302
Саламанка	4,480	3,852	1,163	2,614	0,975	0,282
<i>Среднее значение</i>	<i>4,419</i>	<i>3,765</i>	<i>1,174</i>	<i>2,364</i>	<i>0,974</i>	<i>0,297</i>
<i>Отклонение от среднего значения</i>	<i>0,041</i>	<i>0,058</i>	<i>0,007</i>	<i>0,167</i>	<i>0,001</i>	<i>0,010</i>

Примечание: PSSRa - хлорофилл а; PSSRb - хлорофилл b; CRI<sub>550</sub> - каротиноиды; SIPI - эффективность использования ФАР; N<sub>550</sub> - азот.

Количественное содержание каротиноидов и передается в потомстве. В выше рассмотренных растениях гороха закрепляется по наследству новых вегетативных фазах и далее в ходе онтоге-

**Таблица 3.** Вегетационные индексы, отражающие развитие гороха, фаза цветение

Сорт	Значение индекса					
	PSSRa	PSSRb	PSSRa/ PSSRb	CRI <sub>550</sub>	SIPI	N <sub>550</sub>
<b>Минимальная (хозяйственный контроль) (N<sub>10</sub>P<sub>10</sub>K<sub>10</sub>) + водорастворимое удобрение</b>						
Мадонна	4,491	3,797	1,182	2,319	0,988	0,059
Родник	1,072	0,862	1,243	2,221	0,475	0,049
Саламанка	0,979	0,789	1,240	2,260	0,469	0,052
<i>Среднее значение</i>	<i>2,181</i>	<i>1,816</i>	<i>1,222</i>	<i>2,267</i>	<i>0,644</i>	<i>0,053</i>
<i>Отклонение от среднего значения</i>	<i>1,540</i>	<i>1,321</i>	<i>0,026</i>	<i>0,035</i>	<i>0,229</i>	<i>0,004</i>
<b>Рекомендованная (N<sub>15</sub>P<sub>30</sub>K<sub>30</sub>)</b>						
Мадонна	4,609	4,001	1,151	2,311	0,989	0,303
Родник	4,892	4,203	1,163	2,221	0,992	0,299
Саламанка	4,764	4,226	1,127	2,700	0,977	0,309
<i>Среднее значение</i>	<i>4,755</i>	<i>4,143</i>	<i>1,147</i>	<i>2,411</i>	<i>0,986</i>	<i>0,304</i>
<i>Отклонение от среднего значения</i>	<i>0,097</i>	<i>0,095</i>	<i>0,013</i>	<i>0,193</i>	<i>0,006</i>	<i>0,004</i>
<b>Расчетная на 2,5 т/га (N<sub>20</sub>P<sub>45</sub>K<sub>30</sub>)</b>						
Мадонна	4,567	3,930	1,162	2,402	0,974	0,315
Родник	4,601	3,891	1,182	2,499	0,983	0,309
Саламанка	4,700	3,999	1,175	2,703	0,988	0,291
<i>Среднее значение</i>	<i>4,623</i>	<i>3,940</i>	<i>1,173</i>	<i>2,535</i>	<i>0,982</i>	<i>0,305</i>
<i>Отклонение от среднего значения</i>	<i>0,052</i>	<i>0,039</i>	<i>0,007</i>	<i>0,112</i>	<i>0,005</i>	<i>0,009</i>

Примечание: PSSRa - хлорофилл а; PSSRb - хлорофилл b; CRI<sub>550</sub> - каротиноиды; SIPI - эффективность использования ФАР; N<sub>550</sub> - азот.

неза растений величина  $CRI_{550}$  изменяется, но, по нашему мнению, не носит ярко выраженного идентификационного признака для определения фазового перехода.

В фазе цветения анализ наименьших отклонений от среднего значения индексов отмечен по расчетной схеме ( $N_{20}P_{45}K_{30}$ ). Они составили по PSSRa - 0,052; PSSRb - 0,039; PSSRa/PSSRb - 0,007;  $CRI_{550}$  - 0,112; SIPI - 0,005;  $N_{550}$  - 0,009 (таблица 3).

Далее идет увеличение отклонений показателей от среднего значения по рекомендованной схеме ( $N_{15}P_{30}K_{30}$ ). Показатели составили по PSSRa - 0,097; PSSRb - 0,095; PSSRa/PSSRb - 0,013;  $CRI_{550}$  - 0,193; SIPI - 0,006;  $N_{550}$  - 0,004. Наибольшие показатели по схеме хозяйственного контроля соответственно - 1,540; 1,321; 0,026; 0,035; 0,229; 0,004.

В фазе цветения по всем опытам показатели  $N_{550}$  и SIPI увеличились по сравнению с фазой бутонизации (но не значительно), возможно, за счет улучшения погодно-климатических условий.

В фазу цветения минеральное питание играет особенную роль в образовании каротиноидов. В листьях гороха величина показателя  $CRI_{550}$  возрастает к периоду цветения, достигая максимума, и в дальнейшем снижается к концу вегетации. Установлено, что различие в дозах азотных удобрений не одинаково проявляется на содержании показателя в растениях гороха: в расчетном опыте ( $N_{20}P_{45}K_{30}$ ) показатель значи-

тельно увеличивается. А уменьшение (например, хозяйственный контроль) доз вносимого азота угнетает накопление желтых пигментов.

В фазе образования бобов анализ наименьших отклонений от среднего значения индексов отмечен по расчетной схеме ( $N_{20}P_{45}K_{30}$ ). Они составили по PSSRa - 0,052; PSSRb - 0,040; PSSRa/PSSRb - 0,008;  $CRI_{550}$  - 0,113; SIPI - 0,005;  $N_{550}$  - 0,007 (таблица 4).

Затем идет увеличение отклонений от среднего значения по рекомендованной схеме ( $N_{15}P_{30}K_{30}$ ). Показатели составили по PSSRa - 0,099; PSSRb - 0,094; PSSRa/PSSRb - 0,013;  $CRI_{550}$  - 0,195; SIPI - 0,006;  $N_{550}$  - 0,004. Наибольшие показатели по схеме хозяйственный контроль соответственно - 1,498; 1,325; 0,031; 0,034; 0,189; 0,010.

В фазе техническая спелость анализ наименьших отклонений от среднего значения индексов отмечен по расчетной схеме ( $N_{20}P_{45}K_{30}$ ) и составил по PSSRa - 0,051; PSSRb - 0,042; PSSRa/PSSRb - 0,008;  $CRI_{550}$  - 0,111; SIPI - 0,005;  $N_{550}$  - 0,003 (таблица 5).

Потом идет увеличение отклонений показателя от среднего значения по рекомендованной схеме ( $N_{15}P_{30}K_{30}$ ). Показатели составили по PSSRa - 0,098; PSSRb - 0,094; PSSRa/PSSRb - 0,012;  $CRI_{550}$  - 0,195; SIPI - 0,004;  $N_{550}$  - 0,002.

Наибольшие показатели по схеме хозяйственного контроля соответственно - 1,501;

**Таблица 4.** Вегетационные индексы, отражающие развитие гороха, фаза образование бобов

Сорт	Значение индекса					
	PSSRa	PSSRb	PSSRa/PSSRb	$CRI_{550}$	SIPI	$N_{550}$
<b>Минимальная (хозяйственный контроль) (<math>N_{10}P_{10}K_{10}</math>) + водорастворимое удобрение</b>						
Мадонна	4,382	3,812	1,149	2,321	0,988	0,160
Родник	1,068	0,870	1,227	2,227	0,565	0,143
Саламанка	0,957	0,790	1,211	2,264	0,561	0,132
<i>Среднее значение</i>	<i>2,136</i>	<i>1,824</i>	<i>1,196</i>	<i>2,271</i>	<i>0,705</i>	<i>0,145</i>
<i>Отклонение от среднего значения</i>	<i>1,498</i>	<i>1,325</i>	<i>0,031</i>	<i>0,034</i>	<i>0,189</i>	<i>0,010</i>
<b>Рекомендованная (<math>N_{15}P_{30}K_{30}</math>)</b>						
Мадонна	4,603	4,009	1,148	2,315	0,991	0,310
Родник	4,889	4,211	1,161	2,227	0,993	0,319
Саламанка	4,761	4,228	1,126	2,709	0,979	0,318
<i>Среднее значение</i>	<i>4,751</i>	<i>4,149</i>	<i>1,145</i>	<i>2,417</i>	<i>0,988</i>	<i>0,316</i>
<i>Отклонение от среднего значения</i>	<i>0,099</i>	<i>0,094</i>	<i>0,013</i>	<i>0,195</i>	<i>0,006</i>	<i>0,004</i>
<b>Расчетная на 2,5 т/га (<math>N_{20}P_{45}K_{30}</math>)</b>						
Мадонна	4,561	3,935	1,159	2,410	0,980	0,318
Родник	4,598	3,888	1,182	2,501	0,989	0,317
Саламанка	4,697	4,001	1,173	2,709	0,992	0,302
<i>Среднее значение</i>	<i>4,619</i>	<i>3,941</i>	<i>1,171</i>	<i>2,540</i>	<i>0,987</i>	<i>0,312</i>
<i>Отклонение от среднего значения</i>	<i>0,052</i>	<i>0,040</i>	<i>0,008</i>	<i>0,113</i>	<i>0,005</i>	<i>0,007</i>

Примечание: PSSRa - хлорофилл а; PSSRb - хлорофилл b;  $CRI_{550}$  - каротиноиды; SIPI - эффективность использования ФАР;  $N_{550}$  - азот.

**Таблица 5.** Вегетационные индексы, отражающие развитие гороха, фаза техническая спелость

Сорт	Значение индекса					
	PSSRa	PSSRb	PSSRa/ PSSRb	CRI <sub>550</sub>	SIPI	N <sub>550</sub>
<b>Минимальная (хозяйственный контроль) (N<sub>10</sub>P<sub>10</sub>K<sub>10</sub>) + водорастворимое удобрение</b>						
Мадонна	4,366	3,831	1,139	2,345	0,899	0,128
Родник	1,043	0,892	1,169	2,251	0,698	0,116
Саламанка	0,937	0,800	1,171	2,287	0,656	0,095
<i>Среднее значение</i>	<i>2,115</i>	<i>1,140</i>	<i>1,160</i>	<i>2,294</i>	<i>0,751</i>	<i>0,103</i>
<i>Отклонение от среднего значения</i>	<i>1,500</i>	<i>1,327</i>	<i>0,014</i>	<i>0,034</i>	<i>0,099</i>	<i>0,012</i>
<b>Рекомендованная (N<sub>15</sub>P<sub>30</sub>K<sub>30</sub>)</b>						
Мадонна	4,587	4,020	1,141	2,391	0,967	0,121
Родник	4,875	4,224	1,154	2,252	0,978	0,124
Саламанка	4,749	4,239	1,120	2,740	0,967	0,096
<i>Среднее значение</i>	<i>4,737</i>	<i>4,161</i>	<i>1,138</i>	<i>2,461</i>	<i>0,971</i>	<i>0,114</i>
<i>Отклонение от среднего значения</i>	<i>0,100</i>	<i>0,094</i>	<i>0,012</i>	<i>0,186</i>	<i>0,005</i>	<i>0,012</i>
<b>Расчетная на 2,5 т/га (N<sub>20</sub>P<sub>45</sub>K<sub>30</sub>)</b>						
Мадонна	4,550	3,951	1,151	2,442	0,976	0,196
Родник	4,582	3,900	1,174	2,539	0,989	0,201
Саламанка	4,680	4,024	1,163	2,743	0,978	0,199
<i>Среднее значение</i>	<i>4,604</i>	<i>3,958</i>	<i>1,163</i>	<i>2,575</i>	<i>0,981</i>	<i>0,199</i>
<i>Отклонение от среднего значения</i>	<i>0,051</i>	<i>0,044</i>	<i>0,008</i>	<i>0,112</i>	<i>0,005</i>	<i>0,002</i>

Примечание: PSSRa - хлорофилл а; PSSRb - хлорофилл b; CRI<sub>550</sub> - каротиноиды; SIPI - эффективность использования ФАР; N<sub>550</sub> - азот.

**Таблица 6.** Вегетационные индексы, отражающие развитие гороха, фаза биологическая спелость

Сорт	Значение индекса					
	PSSRa	PSSRb	PSSRa/ PSSRb	CRI <sub>550</sub>	SIPI	N <sub>550</sub>
<b>Минимальная (хозяйственный контроль) (N<sub>10</sub>P<sub>10</sub>K<sub>10</sub>) + водорастворимое удобрение</b>						
Мадонна	4,366	3,831	1,139	2,345	0,899	0,128
Родник	1,043	0,892	1,169	2,251	0,698	0,116
Саламанка	0,937	0,800	1,171	2,287	0,656	0,095
<i>Среднее значение</i>	<i>2,115</i>	<i>1,140</i>	<i>1,160</i>	<i>2,294</i>	<i>0,751</i>	<i>0,103</i>
<i>Отклонение от среднего значения</i>	<i>1,500</i>	<i>1,327</i>	<i>0,014</i>	<i>0,034</i>	<i>0,099</i>	<i>0,012</i>
<b>Рекомендованная (N<sub>15</sub>P<sub>30</sub>K<sub>30</sub>)</b>						
Мадонна	4,587	4,020	1,141	2,391	0,967	0,121
Родник	4,875	4,224	1,154	2,252	0,978	0,124
Саламанка	4,749	4,239	1,120	2,740	0,967	0,096
<i>Среднее значение</i>	<i>4,737</i>	<i>4,161</i>	<i>1,138</i>	<i>2,461</i>	<i>0,971</i>	<i>0,114</i>
<i>Отклонение от среднего значения</i>	<i>0,100</i>	<i>0,094</i>	<i>0,012</i>	<i>0,186</i>	<i>0,005</i>	<i>0,012</i>
<b>Расчетная на 2,5 т/га (N<sub>20</sub>P<sub>45</sub>K<sub>30</sub>)</b>						
Мадонна	4,550	3,951	1,151	2,442	0,976	0,196
Родник	4,582	3,900	1,174	2,539	0,989	0,201
Саламанка	4,680	4,024	1,163	2,743	0,978	0,199
<i>Среднее значение</i>	<i>4,604</i>	<i>3,958</i>	<i>1,163</i>	<i>2,575</i>	<i>0,981</i>	<i>0,199</i>
<i>Отклонение от среднего значения</i>	<i>0,051</i>	<i>0,044</i>	<i>0,008</i>	<i>0,112</i>	<i>0,005</i>	<i>0,002</i>

Примечание: PSSRa - хлорофилл а; PSSRb - хлорофилл b; CRI<sub>550</sub> - каротиноиды; SIPI - эффективность использования ФАР; N<sub>550</sub> - азот.

1,326; 0,021; 0,035; 0,128; 0,013. По всем опытам отмечается увеличение показателя CRI550 и изменение соотношения PSSRa/ PSSRb в сторону увеличения концентрации хлорофилла b, как следствие - формирование горошка.

В фазе биологическая спелость анализ наименьших отклонений от среднего значения индексов отмечен по расчетной схеме ( $N_{20}P_{45}K_{30}$ ) и составил по PSSRa - 0,051; PSSRb - 0,044; PSSRa/PSSRb - 0,008; CRI<sub>550</sub> - 0,112; SIPI - 0,005; N<sub>550</sub> - 0,002 (таблица 6).

Далее идет увеличение отклонений от среднего значения по рекомендованной схеме ( $N_{15}P_{30}K_{30}$ ). Показатели составили по PSSRa - 0,100; PSSRb - 0,094; PSSRa/PSSRb - 0,012; CRI<sub>550</sub> - 0,186; SIPI - 0,005; N<sub>550</sub> - 0,012.

Наибольшие показатели по схеме хозяйственного контроля соответственно - 1,500; 1,327; 0,014; 0,034; 0,099; 0,012.

Анализ значения соотношения хлорофиллов (PSSRa / PSSRb) в схеме хозяйственный контроль показал, что наибольшие стандартные отклонения во всех фазах развития показал сорт Родник (0,15-0,2), затем Саламанка (0,05-0,10) (рис. 1). Наименьшие - сорт Мадонна. Фаза бутонизации для сортов Родник и Саламанка была наиболее критическая.

Анализ значения соотношения хлорофил-

лов (PSSRa/PSSRb) в рекомендованной схеме ( $N_{15}P_{30}K_{30}$ ) показал, что наибольшие стандартные отклонения во всех фазах развития показали сорт Родник (0,12-0,16) (рис. 2). Наименьшие - сорт Мадонна.

Анализ значений соотношения хлорофиллов (PSSRa/ PSSRb) в период онтогенеза в **расчетной схеме на 2,5 т/га** ( $N_{20}P_{45}K_{30}$ ) показал, что наибольшие стандартные отклонения наблюдались у сорта Родник (0,03-0,06), затем - Мадонна (0,01-0,019) (рис. 3). Наименьшие - у сорта Саламанка.

Анализ значений азота (N<sub>550</sub>) в период онтогенеза в схеме опыта хозяйственный контроль показал, что наибольшие стандартные отклонения наблюдались у сортов Родник (0,17-0,21) и Саламанка (0,06-0,09) (рис. 4). Наименьшие - у сорта Мадонна. Наибольший диапазон отклонений показателя приходится на фазу бутонизация. В фазу цветения все сорта испытывают стресс.

Анализ значений азота (N<sub>550</sub>) в период онтогенеза в схеме рекомендованная ( $N_{15}P_{30}K_{30}$ ) показал, что наибольшие стандартные отклонения наблюдались у сорта Родник (0,11-0,16) (рис. 5). Наименьшие - у Мадонна и Саламанка. От фазы образование бобов до фазы биологическая спелость наблюдается уменьшение показателя по всем сортам гороха, вызванный оттоком пластических веществ (азота) из листьев в семена.

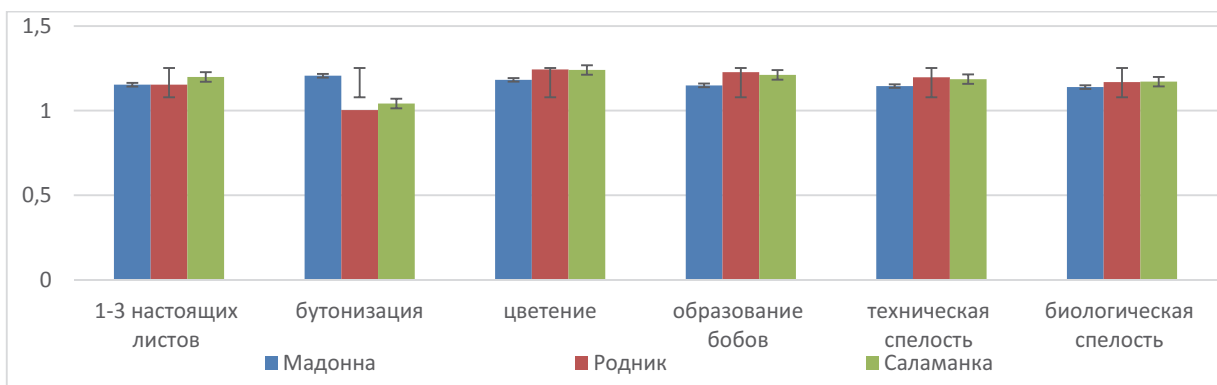


Рис. 1 Динамика соотношения PSSRa/PSSRb в период онтогенеза сортов Мадонна, Родник, Саламанка (схема опыта - минимальная (хозяйственный контроль) ( $N_{10}P_{10}K_{10}$ ) + водорастворимое удобрение)

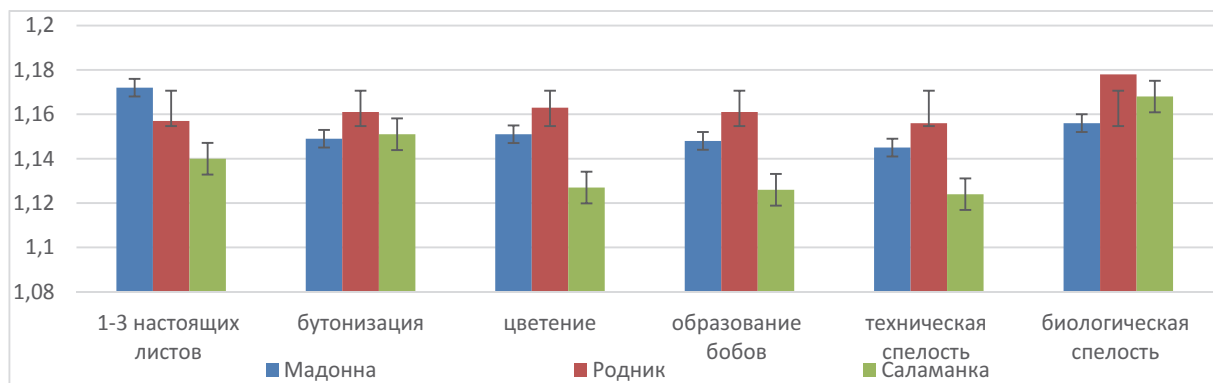
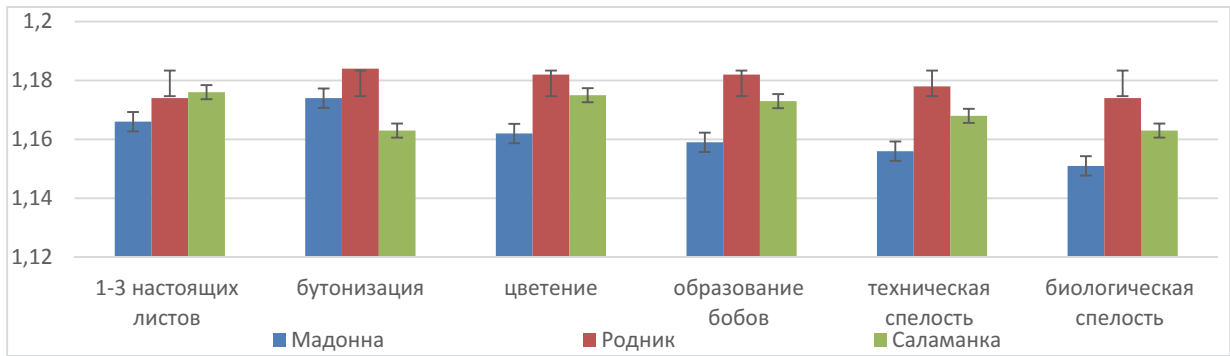
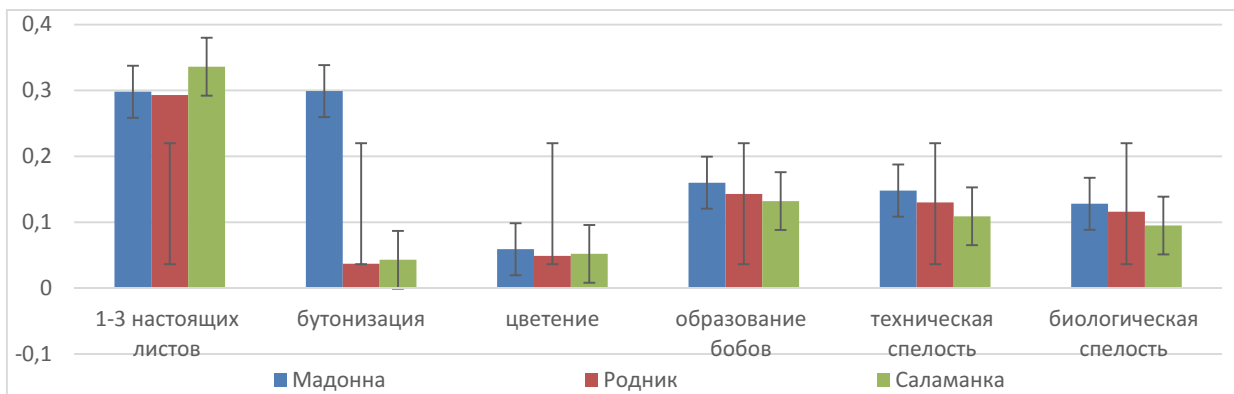


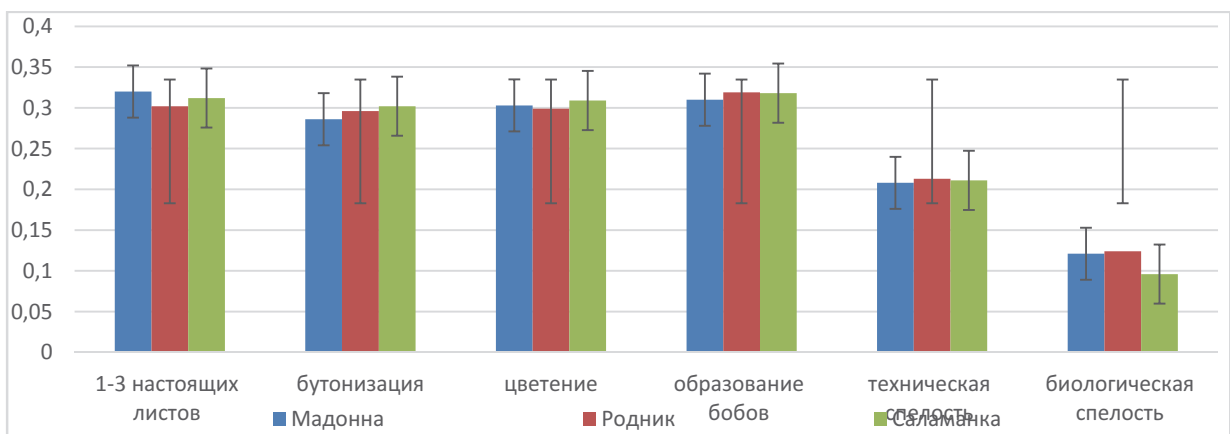
Рис. 2. Динамика соотношения PSSRa/PSSRb в период онтогенеза сортов Мадонна, Родник, Саламанка (схема опыта -  $N_{15}P_{30}K_{30}$ )



**Рис. 3.** Динамика соотношения PSSRa/PSSRb в период онтогенеза сортов Мадонна, Родник, Саламанка (схема опыта -  $N_{20}P_{45}K_{30}$ )



**Рис. 4.** Динамика азота ( $N_{550}$ ) в период онтогенеза сортов Мадонна, Родник, Саламанка (схема опыта - минимальная (хозяйственный контроль) ( $N_{10}P_{10}K_{10}$ ) + водорастворимое удобрение))



**Рис. 5.** Динамика азота ( $N_{550}$ ) в период онтогенеза сортов Мадонна, Родник, Саламанка (схема опыта - рекомендованная ( $N_{15}P_{30}K_{30}$ ))

Анализ значений азота ( $N_{550}$ ) в период онтогенеза в схеме опыта **расчетная на 2,5 т/га** ( $N_{20}P_{45}K_{30}$ ) показал, что наибольшие стандартные отклонения наблюдались у сорта Родник (0,07-0,09) (рис. 6). Наименьшие - у Мадонна и Саламанка.

Проведенный корреляционный анализ взаимосвязи между пигментным комплексом, содержанием азота и белка (%) по сортам и вариантам опыта показал, что показатели PSSRa/PSSRb и  $N_{550}$  имеют умеренно и высокие значе-

ния корреляции (0,58-0,73). Однако, эти показатели не отразили сильную связь с белком (таблица 7).

Результаты исследования показали, что:

Наиболее восприимчивыми к внешним воздействующим факторам являются растения сорта Родник, которые по средним отклонениям показателей (соотношения хлорофилла, концентрации каротиноидов и азота) имеют максимальные значения по всем вариантам опыта и исследуемым сортам. И как результат - более



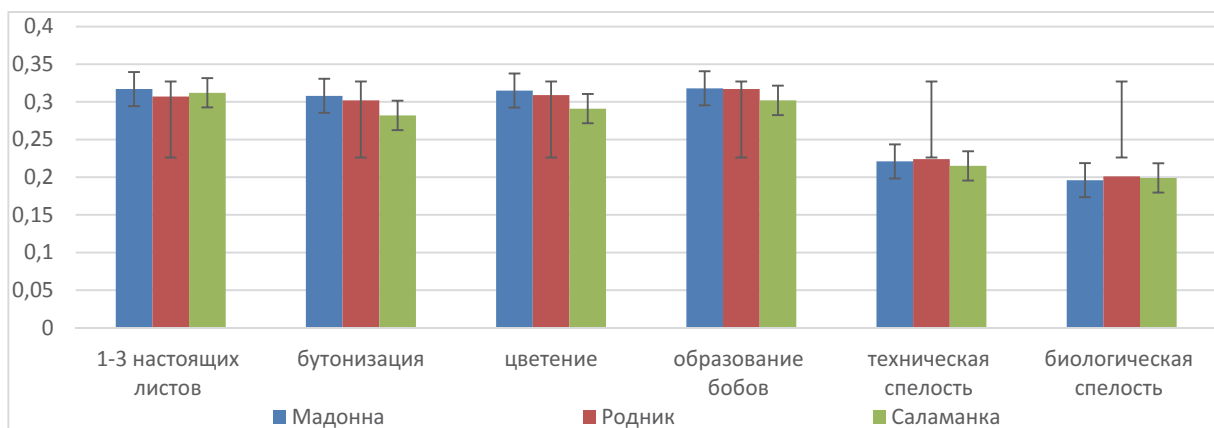


Рис. 6. Динамика азота ( $N_{550}$ ) в период онтогенеза сортов Мадонна, Родник, Саламанка (схема опыта - расчетная на 2,5 т/га ( $N_{20}P_{45}K_{30}$ ))

Таблица 7. Корреляционный анализ взаимосвязи между пигментным комплексом, содержанием азота и белка

Минимальная (хозяйственный контроль) ( $N_{10}P_{10}K_{10}$ ) + водорастворимое удобрение				
Мадонна	PSSRa/PSSRb	1		
	$N_{550}$	0,597041374	1	
	Белок на АСВ, %	4,66159E-15	3,14169E-16	1
Родники	PSSRa/PSSRb	1		
	$N_{550}$	0,690238	1	
	Белок на АСВ, %	4,22159E-15	3,08679E-16	1
Саламанка	PSSRa/PSSRb	1		
	$N_{550}$	0,62463	1	
	Белок на АСВ, %	3,986579E-15	3,01145E-16	1
Рекомендованная ( $N_{15}P_{30}K_{30}$ )				
Мадонна	PSSRa/PSSRb	1		
	$N_{550}$	0,627862	1	
	Белок на АСВ, %	4,77100E-15	3,24462E-16	1
Родники	PSSRa/PSSRb	1		
	$N_{550}$	0,71346	1	
	Белок на АСВ, %	3,72534E-15	3,32101E-16	1
Саламанка	PSSRa/PSSRb	1		
	$N_{550}$	0,61913	1	
	Белок на АСВ, %	4,06159E-15	2,994145E-16	1
Расчетная на 2,5 т/га ( $N_{20}P_{45}K_{30}$ )				
Мадонна	PSSRa/PSSRb	1		
	$N_{550}$	0,584356	1	
	Белок на АСВ, %	4,59150E-15	3,14339E-16	1
Родники	PSSRa/PSSRb	1		
	$N_{550}$	0,738125	1	
	Белок на АСВ, %	4,49111E-15	3,34411E-16	1
Саламанка	PSSRa/PSSRb	1		
	$N_{550}$	0,694469	1	
	Белок на АСВ, %	3,9450E-15	3,26141E-16	1

низкие значения содержания белка в горохе. Сорт не рекомендуется возделывать на низком агрофоне ( $(N_{10}P_{10}K_{10})$  + водорастворимое удобрение). При возделывании сорта по рекомендованной и расчетной схемам условия окружающей среды будут всегда доминировать.

Сорт Саламанка не рекомендуется возделывать на низком агрофоне и рекомендованном, т.к. это скажется на физиологическом состоянии растений - разбалансированности концентрации хлорофилла и азота в листьях растений и, как следствие, проявлению стресса в фазах бутонизация и цветение.

Растения сорта Мадонна хорошо переносят низкий агрофон, а также рекомендованный. Vegetационные показатели относительно однородны. При проявлении неблагоприятных внешних условиях на фоне повышения доз азота и фосфора (при  $N_{20}P_{45}K_{30}$ ) физиологическое состояние растений станет неустойчивым.

Следовательно, высокая отзывчивость к внешним воздействующим факторам растений сорта Родник и Саламанка. Эти сорта не рекомендуется возделывать на низком агрофоне ( $(N_{10}P_{10}K_{10})$  + водорастворимое удобрение), ввиду выявленных колебаний соотношения элементов пигментного комплекса, содержания азота в листьях, в конечном счете, содержания белка в семенах гороха. При проявлении неблагоприятных внешних условиях на фоне повышения доз азота и фосфора (при  $N_{20}P_{45}K_{30}$ ) физиологическое состояние растений сорта Мадонна станет неустойчивым. Для получения стабильных урожаев сортов Родник и Саламанка целесообразно возделывать их на рекомендованном ( $N_{15}P_{30}K_{30}$ ) и расчетном агрофоне ( $N_{20}P_{45}K_{30}$ ), а сорта Мадонна - на рекомендованном ( $N_{15}P_{30}K_{30}$ ).

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Su Y.Z., Zhao W.Z., Su P.X., Zhang Z.H., Wang T., Ram R. Ecological effects of desertification control and desertified land reclamation in an oasis-desert ecotone in an arid region: a case study in Hexi Corridor, northwest China. *Ecol Eng.* 2007;29: 117-124.
2. Hai L., Li X.G., Li F.M., Suo D.R., Guggenberger G. Long-term fertilization and manuring effects on physically-separated soil organic matter pools under a wheat-wheat-maize cropping system in an arid region of China. *Soil Biol Biochem.* 2010;42: 253-259.
3. Duarah I., Deka M., Saikia N., Deka Boruah H.P. Phosphate solubilizers enhance NPK fertilizer use efficiency in rice and legume cultivation. *3 Biotech.* 2011;1: 227-238. doi: 10.1007/s13205-011-0028-2.
4. Mishra R., van Droogen F., Dechant R., Oh S., Jeon N.L., Lee S.S., Peter M. Protein kinase C and calcineurin cooperatively mediate cell survival under compressive mechanical stress. *Proc Natl Acad Sci US A* 114(51):13471-13476. URL: <https://www.yeastgenome.org/reference/S000207159#interaction>.
5. Sattar A., Naveed M., Ali M., Zahir Z., Nadeem S. M., Yaseen M., Meena V. S., Farooq M., Singh R., Rahman M., Meena H. N. Perspectives of potassium solubilizing microbes in sustainable food production system: A review. *Applied Soil Ecology*, Vol. 133, January 2019, 146-159. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2018.09.012>.
6. Fakharzadeh, S., Hafizi, M., Baghae, M.A., Etesami, M., Khayamzadeh, M., Kalanaky, S., Akbar, M.E., Nazaran, M.H., 2020, Using nanochelating technology for biofortification and yield increase in rice. *Sci. Rep.*, 10:4351.
7. Epstein, E. and Bloom, A.J., 2005, Mineral Nutrition of Plants: Principles and Perspectives, 2nd edn. Sunderland, MA: Sinauer. URL: <https://www.scrip.org/%28S%28351jmbntvnsjt1aa dkozje%29%29/reference/referencespapers.aspx?referenceid=1865230>
8. Saqee, F.S., Diakite, S., Kavhiza, N.J., Pakina, E., Zargar, M., 2023, The efficacy of micronutrient fertilizers on the yield formulation and quality of wheat grains. *Agronomy*, 13, 566. <https://doi.org/10.3390/agronomy13020566>.
9. Gureev, I., 2021, The use of micronutrient fertilizers in the cultivation of winter wheat. In *BIO Web of Conferences; EDP Sciences: Les Ulis, France; Volume 32*.
10. Diakite, S., Pagina, E., Zargar, M., Aldaibe, A.A.D., Denis, P., Gregory, L., Behzad A., 2022, Yield losses of cereal crops by Fusarium Link: A review on the perspective of biological control practices. *Res. Crop*, 23:418-436.
11. De Castro, A.I.; Ehsani, R.; Ploetz, R.; Crane, J.H.; Abdulridha, L. Optimum spectral and geometric parameters for early detection of laurel wilt disease in avocado. *Remote Sens. Environ.* 2015, 171, 33-44.
12. Mahlein, A.K.; Oerke, E.C.; Steiner, U.; Dehne, H.W. Recent advances in sensing plant diseases for precision crop protection. *Eur. J. Plant Pathol.* 2012, 133, 197-209.
13. Nilsson, H.E. Remote sensing and image analysis in plant pathology. *Annu. Rev. Phytopathol.* 1995, 15, 489-527.
14. Bock, C.H.; Poole, G.H.; Parker, P.E.; Gottwald, T.R. Plant disease severity estimated visually, by digital photography and image analysis, and hyperspectral imaging. *Crit. Rev. Plant Sci.* 2010, 29, 59-107.
15. Barton, C. Advances in remote sensing of plant stress. *Plant Soil*, 2012, 354, 41-44.
16. Calderón, R.; Montes-Borrego, M.; Landa, B.B.; Navas-Cortés, J.A.; Zarco-Tejada, P.J. Detection of downy mildew of opium poppy using high-resolution multi-spectral and thermal imagery acquired with an unmanned aerial vehicle. *Precision Agric.* 2014, 15, 639-661.
17. Blackburn, G.A., 1998, Spectral indices for estimating photosynthetic pigment concentrations: A test using senescent tree leaves. *Int. J. Remote Sens.*, 19: 657-675.
18. Gitelson, A.A., Keydan, G.P., Merzlyak, M.N., 2006, Three-band model for noninvasive estimation of chlorophyll, carotenoids, and anthocyanin contents in higher plant leaves. *Geophys. Res. Lett.* 2006, 33: L11402.
19. López-López, M., Calderón, R., González-Dugo, V., Zarco-Tejada, P.J., Fereres E., 2016, Early detection and quantification of almond red leaf blotch using high-resolution hyperspectral and thermal imagery. *Remote Sens.* 2016, 8, 276; doi:10.3390/rs8040276.
20. Carter, G.A., 1994, Ratios of leaf reflectances in narrow wavebands as indicators of plant stress. *Int. J. Remote Sens.*, 15, 697-703.

**ASSESSMENT OF THE PHYSIOLOGICAL STATE OF PEA PLANTS  
BASED ON THE USE OF A NON-INVASIVE METHOD IN CONDITIONS  
OF SUFFICIENT MOISTURE IN STAVROPOL TERRITORY**

© 2023 E.V. Pismennaya

Stavropol State Agrarian University, Stavropol, Russia

Annotation. The article presents the results of a study of the effect of fertilizers according to experimental variants on the physiological state of pea varieties - Salamanca, Madonna and Rodnik, determined by the PolyPen RP 410 NIR spectroradiometer. The study was conducted in March-June 2022 and 2023 on leached chernozem with powerful low-humus heavy loam at the experimental site of the educational and experimental farm of Stavropol State Agrarian University. The area of 3 plots is 3.6 hectares. Meteorological conditions are characterized by moderate humidity, but uneven precipitation throughout the year. The average annual precipitation is 551 mm, the sum of active temperatures is 3000-3200 °C. The GTC is 1.1-1.3. The agrochemical composition of the soil is as follows: the humus content in the arable horizon is 4.26%, pH is 5.81, the content of forms of mobile phosphorus is 28.3 mg/kg, mobile potassium is 250 mg/kg, ammonium nitrogen is 14.2 mg/kg, nitrate nitrogen is 5.8 mg/kg. The most susceptible to external influences is the Rodnik variety. The average deviations of the vegetation indices (chlorophyll ratios, carotenoid and nitrogen concentrations) have maximum values for all variants of the experiment and the studied varieties. And as a result, lower values of protein content in peas (16-57-22.42%). Therefore, the Rodnik variety is not recommended to be cultivated on a low agrophone ((N<sub>10</sub>P<sub>10</sub>K<sub>10</sub>) + water-soluble fertilizer). When cultivating the variety according to the recommended and calculated schemes, environmental conditions will always dominate. The Salamanca variety is not recommended to be cultivated at a low agrophone and recommended, because this will affect the physiological state of plants - an imbalance in the concentration of chlorophyll and nitrogen in the leaves of plants and, as a result, the manifestation of stress in the phases of budding and flowering. The protein content is 18.52-22.70%. The Madonna variety tolerates low agrophone well, as well as the recommended one. Vegetation indicators are relatively uniform. If unfavorable external conditions occur against the background of increased doses of nitrogen and phosphorus (at N<sub>20</sub>P<sub>45</sub>K<sub>30</sub>), the physiological state of plants will become unstable. The protein content is 19.30-21.61%. Therefore, in order to obtain stable yields of the Rodnik and Salamanca varieties, it is advisable to cultivate them on the recommended (N<sub>15</sub>P<sub>30</sub>K<sub>30</sub>) and calculated agrophone (N20P45K30), and the Madonna varieties on the recommended (N<sub>15</sub>P<sub>30</sub>K<sub>30</sub>).

*Key words:* assessment, physiological state, pea plants, non-invasive method, sufficient moisture.

DOI: 10.37313/2782-6562-2023-2-4-8-19

EDN: YPFRCR

**REFERENCES**

1. Su Y.Z., Zhao W.Z., Su P.X., Zhang Z.H., Wang T., Ram R. Ecological effects of desertification control and desertified land reclamation in an oasis-desert ecotone in an arid region: a case study in Hexi Corridor, northwest China. *Ecol Eng.* 2007;29: 117–124.
2. Hai L., Li X.G., Li F.M., Suo D.R., Guggenberger G. Long-term fertilization and manuring effects on physically-separated soil organic matter pools under a wheat-wheat-maize cropping system in an arid region of China. *Soil Biol Biochem.* 2010;42: 253–259.
3. Duarah I., Deka M., Saikia N., Deka Boruah H.P. Phosphate solubilizers enhance NPK fertilizer use efficiency in rice and legume cultivation. *3 Biotech.* 2011;1: 227-238. doi: 10.1007/s13205-011-0028-2.
4. Mishra R., van Drogen F., Dechant R., Oh S., Jeon N.L., Lee S.S., Peter M. Protein kinase C and calcineurin cooperatively mediate cell survival under compressive mechanical stress. *Proc Natl Acad Sci US A* 114(51):13471-13476. URL: <https://www.yeastgenome.org/reference/S000207159#interaction>.
5. Sattar A., Naveed M., Ali M., Zahir Z., Nadeem S. M., Yaseen M., Meena V. S., Farooq M., Singh R., Rahman M., Meena H. N. Perspectives of potassium solubilizing microbes in sustainable food production system: A review. *Applied Soil Ecology*, Vol. 133, January 2019, 146-159. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2018.09.012>.
6. Fakharzadeh, S., Hafizi, M., Baghae, M.A., Etesami, M., Khayamzadeh, M., Kalanaky, S., Akbar, M.E., Nazaran, M.H., 2020, Using nanochelating technology for biofortification and yield increase in rice. *Sci. Rep.*, 10:4351.
7. Epstein, E. and Bloom, A.J., 2005, *Mineral Nutrition of Plants: Principles and Perspectives*, 2nd edn. Sunderland, MA: Sinauer. URL: <https://www.scirp.org/%28S%28351jmbntvnsjt1aa dkozje%29%29/reference/referencespapers.aspx?referenceid=1865230>
8. Saquee, F.S., Diakite, S., Kavhiza, N.J., Pakina, E., Zargar, M., 2023, The efficacy of micronutrient fertilizers on the yield formulation and quality of wheat grains. *Agronomy*, 13, 566. <https://doi.org/10.3390/agronomy13020566>.
9. Gureev, I., 2021, The use of micronutrient fertilizers in the cultivation of winter wheat. In *BIO Web of Conferences*; EDP Sciences: Les Ulis, France; Volume 32.

10. Diakite, S., Pagina, E., Zargar, M., Aldaibe, A.A.D., Denis, P., Gregory, L., Behzad A., 2022, Yield losses of cereal crops by Fusarium Link: A review on the perspective of biological control practices. *Res. Crop*, 23:418-436.
11. De Castro, A.I.; Ehsani, R.; Ploetz, R.; Crane, J.H.; Abdulridha, L. Optimum spectral and geometric parameters for early detection of laurel wilt disease in avocado. *Remote Sens. Environ.* 2015, 171, 33-44.
12. Mahlein, A.K.; Oerke, E.C.; Steiner, U.; Dehne, H.W. Recent advances in sensing plant diseases for precision crop protection. *Eur. J. Plant Pathol.* 2012, 133, 197-209.
13. Nilsson, H.E. Remote sensing and image analysis in plant pathology. *Annu. Rev. Phytopathol.* 1995, 15, 489-527.
14. Bock, C.H.; Poole, G.H.; Parker, P.E.; Gottwald, T.R. Plant disease severity estimated visually, by digital photography and image analysis, and hyperspectral imaging. *Crit. Rev. Plant Sci.* 2010, 29, 59-107.
15. Barton, C. Advances in remote sensing of plant stress. *Plant Soil*, 2012, 354, 41-44.
16. Calderón, R.; Montes-Borrego, M.; Landa, B.B.; Navas-Cortés, J.A.; Zarco-Tejada, P.J. Detection of downy mildew of opium poppy using high-resolution multi-spectral and thermal imagery acquired with an unmanned aerial vehicle. *Precision Agric.* 2014, 15, 639-661.
17. Blackburn, G.A., 1998, Spectral indices for estimating photosynthetic pigment concentrations: A test using senescent tree leaves. *Int. J. Remote Sens.*, 19: 657-675.
18. Gitelson, A.A., Keydan, G.P., Merzlyak, M.N., 2006, Three-band model for noninvasive estimation of chlorophyll, carotenoids, and anthocyanin contents in higher plant leaves. *Geophys. Res. Lett.* 2006, 33: L11402.
19. López-López, M., Calderón, R., González-Dugo, V., Zarco-Tejada, P.J., Fereres E., 2016, Early detection and quantification of almond red leaf blotch using high-resolution hyperspectral and thermal imagery. *Remote Sens.* 2016, 8, 276; doi:10.3390/rs8040276.
20. Carter, G.A., 1994, Ratios of leaf reflectances in narrow wavebands as indicators of plant stress. *Int. J. Remote Sens.*, 15, 697-703.