

Спектрометрични и биометрични изследвания на зимна пшеница по време на международния експеримент „Телегео-87“

Р. Х. Кънчева

Лаборатория за слънчево-земни въздействия, БАН

Разработването на перспективни научни методики за целите на народното стопанство с използване на данни от дистанционните изследвания е свързано с получаване на информация и определяне на характеристиките на интересувашите ни обекти върху земната повърхност. Тези разработки придобиват все по-голяма приложна насоченост, особено що се отнася до селското стопанство, чиито интереси изискват получаване на оперативна и периодична информация за състоянието на почвената и растителната покривка. Основна задача на изследванията тук е проследяване динамиката на развитие на растителността и на почвените процеси с помощта на комплекс от наземни, самолетни и космически средства, въз основа на което се разработват методи за анализ на състоянието и производителността на агротехническите геосистеми.

Спектрометричните методи благодарение на своята информативност се използват широко за целите на селскостопанския мониторинг [1—4]. Актуална насока в използването на спектрални данни съвместно с биогеофизични полеви проучвания е оценяването на текущото състояние на посевите с цел контрол на тяхното развитие и своевременно приемане на стопански решения. Главни въпроси, решавани в хода на тези изследвания, са:

— определяне на тези параметри на селскостопанските култури, които могат да бъдат оценени въз основа на спектрометрични данни, т. е. търсене на физично обусловени връзки между измерваните спектрални характеристики и биофизичните параметри на растителността;

— определяне на спектралните диапазони, даващи най-устойчива информация, пригодна за идентифициране и описание на важни селскостопански ситуации;

— изучаване на сезонната динамика на многоспектралните характеристики на селскостопанските култури, включително и в стресови ситуации;

— оценяване на ландшафтно-екологичната динамика на спектралните характеристики, свързана с почвено-климатичните и агротехническите условия за отглеждане на селскостопанските култури;

— разработване на методи за фитодиагностика, контролиране растежа и прогнозиране развитието и продуктивността на посевите.

При разглеждането на тези въпроси очевидно са необходими системни спектрометрични и биометрични изследвания на селскостопански култури в различни фенологични фази и условия на вегетация. Такива в ИКИ — БАН, се провеждат от редица години на територията както на България, така и на други страни в рамките на програмата ИНТЕРКОСМОС.

В статията са представени резултати от изследванията на посеви зимна пшеница по време на международния експеримент „Телегео-87“ на територията на Полша (полигон Нарев, ключов участък Бокини). Те са продължение на разработките у нас [5—7] и в чужбина [8—11], чиято важна задача е установяването на корелации между характеристиките на спектралната отражателна способност и параметрите на физиологичното състояние на посева.

Таблица 1.

Регресионни зависимости между спектралните показатели K_1 , K_2 и V и фитометричните параметри на зимна пшеница във фаза изкласяване

Фитометрични параметри	$f(X)$	A	B	r_{xy}	Δ_y
$X = V$					
S	$A \exp(BX)$	0,01	5,307	0,97	3,2
M_w	$A \exp(BX)$	0,224	3,36	0,91	7,2
M_d	$A \exp(BX)$	0,123	2,812	0,77	12,9
LAI	$A \exp(BX)$	0,069	3,931	0,94	8,4
N	$A \exp(BX)$	42,615	3,329	0,89	9,9
h	$A + BX$	-0,042	1,411	0,92	2,6
Nh	$A \exp(BX)$	14,038	4,82	0,93	10,4
$X = K_1$					
S	$A + BX$	-0,53	0,725	0,88	12,7
M_w	$A \exp(BX)$	0,433	1,156	0,87	9,4
M_d	$A \exp(BX)$	0,222	0,944	0,72	13,1
LAI	$A \exp(BX)$	0,15	1,348	0,9	11,0
N	$A \exp(BX)$	79,522	1,162	0,87	11,1
h	$A + BX$	0,216	0,496	0,91	3,0
Nh	$A \exp(BX)$	34,257	1,69	0,91	12,8
$X = K_2$					
S	$A + BX$	-0,098	0,093	0,97	3,5
M_w	$A \exp(BX)$	1,114	0,12	0,93	7,2
M_d	$A \exp(BX)$	0,466	0,102	0,8	11,8
LAI	$A \exp(BX)$	0,446	0,142	0,97	5,0
N	$A \exp(BX)$	207,55	0,12	0,91	8,2
h	$A + BX$	0,658	0,047	0,88	4,0
Nh	$A \exp(BX)$	144,23	0,169	0,93	10,0

Въз основа на наземни спектрометрични и биометрични измервания са изведени преки регресионни съотношения, описващи функционалните връзки между фитометричните параметри на зимната пшеница във фаза изкласяване и спектралните отражателни характеристики (табл. 1), както и вътрешните взаимовръзки между отделните биоструктурни параметри на посева (табл. 2).

Таблица 2

Корелационни зависимости между фитометричните параметри на зимна пшеница във фаза изкласяване

Фитометрични параметри	$f(X)$	A	B	r_{xy}	Δy	Δx
$X=S$						
M_w	$A \text{ exp } (BX)$	1,285	1,248	0,96	6,3	7,2
M_d	$A \text{ exp } (BX)$	0,529	1,055	0,81	11,9	16,6
LAI	$A \text{ exp } (BX)$	0,538	1,449	0,98	3,8	4,1
N	$A \text{ exp } (BX)$	242,2	1,226	0,93	7,5	9,9
h	$A+BX$	0,716	0,485	0,9	3,5	13,8
Nh	$A \text{ exp } (BX)$	177,7	1,734	0,94	9,0	9,0
$X=Nh$						
M_w	$A+BX$	0,41	$4,3 \cdot 10^{-3}$	0,94	11,8	14,2
M_d	$A+BX$	0,171	$1,5 \cdot 10^{-3}$	0,89	14,8	19,9
LAI	$A+BX$	0,123	$2,2 \cdot 10^{-3}$	0,97	8,7	9,7
$X=LAI$						
M_w	$A+BX$	0,227	1,901	0,95	10,8	11,6
M_d	$A+BX$	0,127	0,655	0,87	16,1	19,1

Като характеристики на отражателната способност са използвани спектралните показатели K_1 , K_2 (зонални оптични контрасти) и V (вегетационен индекс), представляващи съответно отношението и нормирана разлика на коефициентите на отражение в най-информативните за растителността спектрални зони [6, 7, 11]: зелената — $0,55 \mu\text{m}$, червената — $0,67 \mu\text{m}$, и близката инфрачервена — $0,8 \mu\text{m}$, като $K_1=r(0,55)/r(0,67)$; $K_2=r(0,8)/r(0,67)$ и $V=[r(0,8)-r(0,67)]/[r(0,8)+r(0,67)]$. Измерването на спектралните коефициенти на отражение $r(\lambda)$ е извършвано в надир с разработения в ИКИ — БАН, полски спектрометър ИСОХ-020. Биометричните измервания — гъстота N (брой растения на 1 m^2), височина $h(\text{m})$, проективно покритие S , количество надземна биомаса (kg/m^2): свежо тегло M_w , абсолютно сухо тегло M_d , индекс на листовата площ LAI, са проведени с конвенционални полски методи. Емпиричната параметризация с използване на методите за регресионен анализ позволява с относително прости средства да се намерят най-устойчивите връзки между корелираните величини, характеризирани се с коефициента на корелация r_{xy} и определяни от вида $f(X)$ и коефициентите A и B на регресионното уравнение. Количественото съгласуване на измерваните и изчисляваните (възстановявани) по уравненията стойности на търсените фитометрични параметри е оценявано по относителната процентна грешка $\Delta x=(X_{\text{изм}}-X_{\text{изч}})/X_{\text{изм}}$.

Биоструктурните параметри на посева определят неговото състояние в даден момент и са диагностични показатели за развитието на културата в различните стадии на вегетационния цикъл. В същото време те са определящ фактор на спектралната отражателна способност [12—14] и измерваните радиационни характеристики на растителната покривка са функция на биометричните ѝ параметри. От тази зависимост се обуславя възможността за дистанционна фитодиагностика, т. е. за оценка на споменатите растителни параметри по данни от измерванията на спектралните отражателни характеристики. Изследванията целят получаването на количествен израз на съществуващите зависимости за различни селскостопански култури във

всички основни фенологични фази на тяхното развитие чрез емпирични съотношения, отчитайки и конкретните екологични условия (почвени и метеорологични характеристики, съществуваща агропрактика).

За практическата приложимост на изследванията, част от които са приведени в статията, се правят следните основни изводи.

1. Измерваните спектрални отразителни характеристики са резултат от съвместното влияние на различните фактори-фитопараметри, поради което установените еднофакторни зависимости са твърде полезни, позволяват да се оцени влиянието на всеки фитопараметър и предоставят възможност за непосредственото му определяне по съответните уравнения (табл. 1).

2. Получените регресионни уравнения (табл. 1) позволяват определянето на фитометричните параметри на посева по данни от спектрални измервания с удовлетворителна точност. Относителните отклонения Δx на възстановяваните по уравненията стойности на фитопараметрите от измерваните не превишават в най-лошия случай 13%, като такава грешка е характерна и за масовите наземни наблюдения на селскостопанските полета [15].

3. Чрез сравнение на така определен фитометричен параметър ϕ_{ki} в дадена фенофаза i с неговата среднестатистична или оптимална стойност ϕ_{ki}^{opt} за същата фенофаза получаваме оценката $\theta_{\phi_{ki}} = \phi_{ki} / \phi_{ki}^{opt}$, характеризираща състоянието на посева по отношение на съответния фитопоказател на дадения етап от вегетационното развитие.

4. Тъй като агрофизичните параметри са тясно взаимосвързани през целия вегетационен цикъл, от голямо значение е изучаването на закономерностите на тяхното формиране в различните стадии на развитие на културата. Представените в табл. 2 резултати от такива изследвания позволяват определянето на един фитопараметър по известната стойност на друг, например най-лесно за непосредствено измерване при полевите наблюдения.

5. Получените съотношения между фитометричните параметри (табл. 2) могат да се използват също за сравнение и контрол на направената оценка на тези параметри по данни от спектрометричните измервания. Така например чрез измерената стойност на вегетационния индекс $V=0,779$ на пшеничния посев във фаза изкласяване определяме по уравненията от табл. 1 фитопараметрите: $S=0,68$; $M_w=3,069$; $M_d=1,099$; $LAI=1,475$; $Nh=599$. След това ги изчисляваме по табл. 2, изхождайки от намереното $S=0,68$; $M_w=3,002$; $M_d=1,084$; $LAI=1,441$; $Nh=577$.

От полевите биометрични измервания са получени: $S=0,65$; $M_w=3,06$; $M_d=0,973$; $LAI=1,375$; $Nh=541$.

По същия начин могат да бъдат определени фитометричните параметри на посева, като се използват измерените стойности на K_1 и K_2 , а също така средните оценки на фитопараметрите по трите спектрални показателя. Приведеният пример показва много добрата съпоставимост на резултатите от използването на изведените съотношения с действителните резултати от биометричните измервания.

6. Наличието на надеждна информация за различните фитопараметри в даден момент позволява да се прави средна многофакторна оценка на състоянието на посева, т. е. да разполагаме с набор от $\theta_{\phi_{ki}}$, което повишава достоверността на оценката.

7. Моделите, предназначени за прогнозиране на добива, съществено се опират на информация за биометричните параметри, отразяващи състоянието на посевите [16—18], което определя нуждата и полезността на провежданите изследвания за различни култури във всички основни фенологични фази с цел проследяване динамиката на биопоказателите през вегетационния период и установяване влиянието им върху продуктивността.

Литература

1. Кондратов, К. Я., П. П. Федченко. Дистанционное определение площадей с поврежденными посевами озимых культур. — Метеорология и гидрология, 1982, № 8, 102—108.
2. Henderson, K. E., G. D. Badhwar. An Initial Model for Estimating Soybean Development Stages from Spectral Data. — Remote Sensing of Environment, 14, 1984, No 1, 55-63.
3. Tucker, C. J., J. H. Elgin, J. E. McMurley. Temporal Spectral Measurements of Corn and Soybean Crops. — Photogram. Eng. and Remote Sensing, 45, 1979, No 5, 643-653.
4. Crist, E. R. Effects of Cultural and Environmental Factors on Corn and Soybean Spectral Development Patterns. — Remote Sensing of Environment, 14, 1984, No 1, 3-13.
5. Мишев, Д. Н., Р. Х. Кынчева. Определение относительной площади, занимаемой посевам, по данным спектрометрических измерений. — Исследование Земли из космоса, 1988, № 5, 71—75.
6. Kapcheva, R. The Use of Spectral Reflectance Characteristics for the Estimation of Winter Wheat Stage. — Comptes rendus de l'Académie bulgare des Sciences, 41, 1988, No 8, 69-71.
7. Kapcheva, R., M. Chervenyashka. Experimental Study of the Spectral Reflection Characteristics of Soils and Vegetation from Acrospace Experiment Gyunesh-84. — Remote Sensing Reviews, 3, 1988, 145-152.
8. Нилъсон, Т. А., Я. А. Антон, В. Б. Аплей, Ю. И. Кыдар, В. А. Росс, Ю. К. Росс. Об оценке степени созревания зерновых культур дистанционными оптическими методами. — Исследование Земли из космоса, 1982, № 1, 41—47.
9. Wiegand, C. L., A. J. Richardson, E. T. Canemassu. Leaf Area Index Estimates for Wheat from Landsat and Their Implications for Evapotranspiration and Yield Modeling. — Agronomy Journal, 71, 1979, 336-342.
10. Collins, W. Remote Sensing of Crop Type and Maturity. — Photogram. Eng. Remote Sensing, 44, 1978, 43-56.
11. Dusek, D. A., R. D. Jackson, J. T. Musick. Winter Wheat Vegetation Indices Calculated from Combinations of Seven Spectral Bands. — Remote Sensing of Environment, 18, 1985, 255-267.
12. Росс, Ю. К. Радиационный режим и архитектура растительного покрова. Л., Гидрометеиздат, 1975, с. 343.
13. Вауер, М. Е. Spectral Input to Crop Identification and Condition Assessment. — Proceedings of IEEE, 73, 1985, No 6, 1071-1085.
14. Remote Multispectral Sensing in Agriculture. — Report of the Laboratory for Agricultural Remote Sensing, 4, 1970, Research Bulletin, No 873.
15. Выгодская, Н. Н., И. И. Горшков, А. С. Уханов. Сравнение рассчитанных по модели Гюдриана и измеренных спектральных коэффициентов энергетической яркости сельскохозяйственных посевов. — Исследование Земли из космоса, 1987, № 1, 93—101.
16. Георгиева, Я., Ц. Рачинска, В. Гоцова. Влияние на листата върху формирането на зърното при меката пшеница. — Физиология на растенията, 3, 1974, 475-493.
17. Станкова, П. Ролята на фотосинтезиращата площ след изкласяване за формиране на зърното при интензивни сортове зимна мека пшеница. — Физиология на растенията, 6, 1982, 580—587.
18. Лазаров, Н., И. Михов. Влияние на гъстотата на посева и торенето върху фотосинтетичната дейност и добива на зимния ечемик при поливни условия. — Физиология на растенията, 6, 1982, 600—603.

Winter wheat spectrometric and biometric investigations during the "Telegeo-87" international experiment

R. H. Kancheva

(S u m m a r y)

On the basis of experimental data the interrelations between the winter wheat spectral reflection characteristics and its biostructural parameters in the stage of ear formation have been investigated. The dependences obtained allow the determination of the crop phyto-parameters on the basis of the spectrometric measurements data. The correlations between the different biometric indices of the given phenological phase have been investigated. The obtained empirical correlations can be used as a basis for the crops state quantitative assessment.