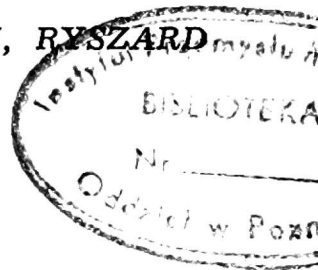


KAZIMIERZ OLECH, MARIA GUZ, ZBYSZEK K. BLAMOWSKI, RYSZARD
STANEK

Akademia Rolnicza w Lublinie



WYKORZYSTANIE ENERGII PROMIENIOWANIA SŁONECZNEGO PRZEZ UPRAWY POLOWE

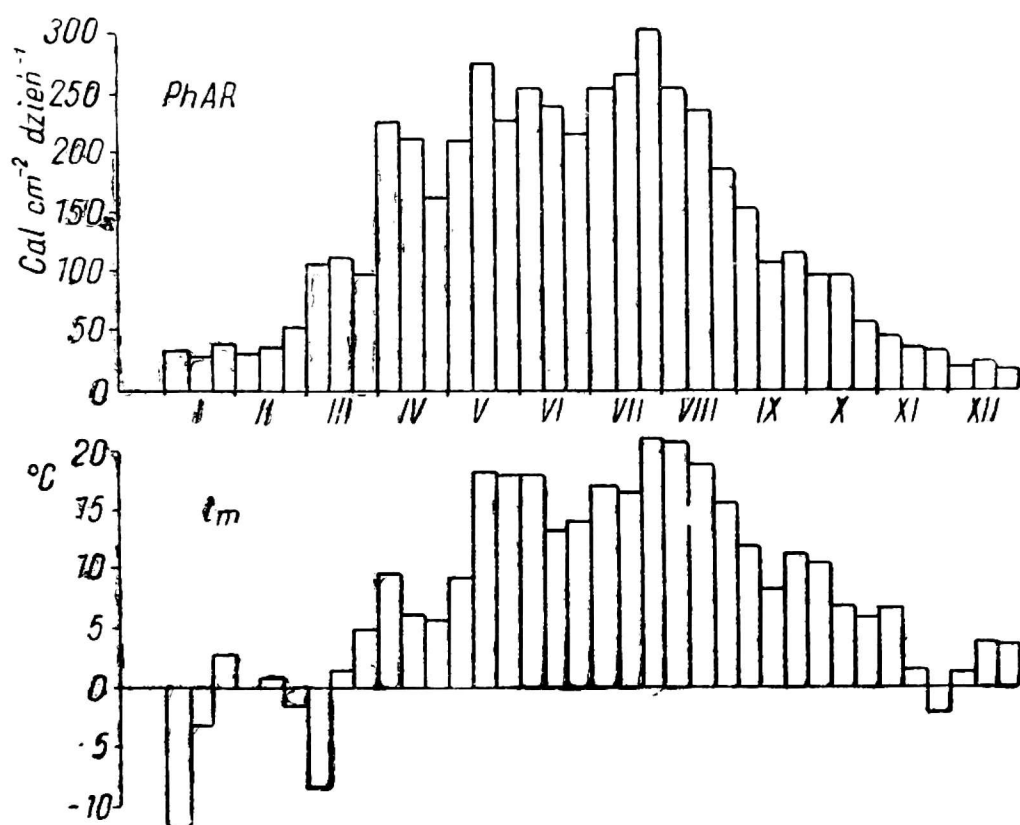
Produkcja roślinna jak wiadomo opiera się na wykorzystaniu energii promieniowania słonecznego przez rośliny uprawne. Funkcja rolnika w procesie przetwarzania energii świetlnej w chemiczną, gromadzoną w masie organicznej roślin, sprowadza się do stworzenia temu procesowi jak najkorzystniejszych warunków poprzez odpowiednią uprawę gleby, właściwe nawożenie, nawadnianie, odpowiednią gęstość siewu, zwalczanie szkodników i chwastów itp. Wszystkie te zabiegi, pozwalają znacznie zwiększyć produkcję roślinną z jednostki powierzchni. Duże efekty uzyskano również przez wyhodowanie nowych odmian roślin uprawnych, bardziej dostosowanych do wysokich dawek nawożenia mineralnego, do nowych, intensywnych metod agrotechnicznych. U odmian tych także dystrybucja asymilatów jest dla rolnika korzystniejsza — więcej ich gromadzi się w tej części plonu, która jest przedmiotem zainteresowania producenta.

Szukanie dalszych rezerw w produkcji roślinnej prowadzi między innymi do poznawania struktury oraz funkcjonowania różnych ekosystemów, w tym również upraw polowych. Dokonanie pod tym kątem obiektywnej oceny funkcjonowania łąnu stwarza naukowe podstawy do właściwego wykorzystania tych możliwości jakie daje nam promieniowanie słoneczne i uzależniona od niego fotosynteza. Dlatego obok badań nad mechanizmem fotosyntezy w ostatnich latach bardzo dużo uwagi poświęcono ekologii fotosyntezy, zarówno naturalnych, jak i sztucznych ekosystemów i związanej z nimi produkcji biomasy (2, 7, 27, 30, 43, 55, 56).

Promieniowanie fotosyntetycznie czynne (PhAR) i jego wykorzystanie przez rośliny

Pod pojęciem promieniowania fotosyntetycznie czynnego (PhAR) należy rozumieć tę część widma słonecznego, która mieści się w prze-

dziale długości fal od 350 do 750 nm (5). W zależności od strefy klimatycznej wielkość promieniowania PhAR dochodzącego do roślin w okresie wegetacji jest zmienna. Rysunek 1 przedstawia przebieg roczny średnich dekadowych wartości dopływu energii PhAR i temperatury powietrza w Belsku (750).



Rys. 1. Przebieg roczny średnich dekadowych wartości dopływu energii (PhAR) i temperatury powietrza (t_m) dla roku 1971 w Belsku (47)

Udział PhAR w ogólnym promieniowaniu słońca zależy od warunków meteorologicznych. Przy bezchmurnym niebie promieniowanie to stanowi około 50% ogólnego promieniowania słońca (47). Dokładniejsze pomiary (4) wykazały, że może się ono zmieniać w granicach 38—58% w zależności od przebiegu pogody.

Okolo 90% pochłanianej przez liście energii jest zamieniane na ciepło w procesie transpiracji. Tylko niewielki procent wykorzystywany jest przez rośliny w procesie fotosyntezy. Znikoma część pochłoniętej energii bierze udział w regulacji procesów wzrostowych i rozwojowych (40). Należy pamiętać, że występuje zależność między intensywnością procesu fotosyntezy a natężeniem światła, która przy małych natężeniach światła ma charakter liniowy. W miarę zwiększania natężenia światła szybkość wzrostu fotosyntezy maleje, aż do punktu wysycenia, poza którym wiel-

kość promieniowania świetlnego nie ma wpływu na intensywność fotosyntezy (1, 6, 10, 11, 12, 16, 38, 44, 46).

Mówiąc o promieniowaniu fotosyntetycznie czynnym należy zaznaczyć, że składa się ono z bezpośredniego promieniowania słońca i rozproszonego promieniowania nieba. W rejonach o niskim położeniu słońca i strefach o dużym zachmurzeniu, szczególnie duże znaczenie ma ten drugi rodzaj promieniowania (40).

Miarą wykorzystania promieniowania PhAR jest stosunek ilości energii zmagazynowanej w roślinach w postaci materiału organicznego do ilości energii słonecznej dochodzącej do łąnu. Jest to tzw. współczynnik wykorzystania energii PhAR, który może być obliczony na podstawie sumy energii z okresu wegetacji lub całego roku. Z tego względu wartości omawianego współczynnika, obliczane powyższymi sposobami, różnią się między sobą. Przykładowo z obliczeń wykonanych przez Okanienko (35) wynika, że wartość współczynnika wykorzystania energii świetlnej przez łąn pszenicy dla okresu wegetacyjnego waha się w granicach 1,15—1,74%, a dla całego roku od 0,74 do 1,12%. Oprócz różnic wynikających ze sposobów obliczeń, wartości tego współczynnika są różne dla poszczególnych rodzajów, gatunków a nawet odmian roślin. W uprawach polowych wartość współczynnika wykorzystania energii PhAR dla okresu wegetacji dochodzi maksymalnie do 5% (31, 32). Przypuszcza się, że potencjalna możliwość wykorzystania przez roślinę energii PhAR może dochodzić do 15% (29), a nawet 25% (49, 58).

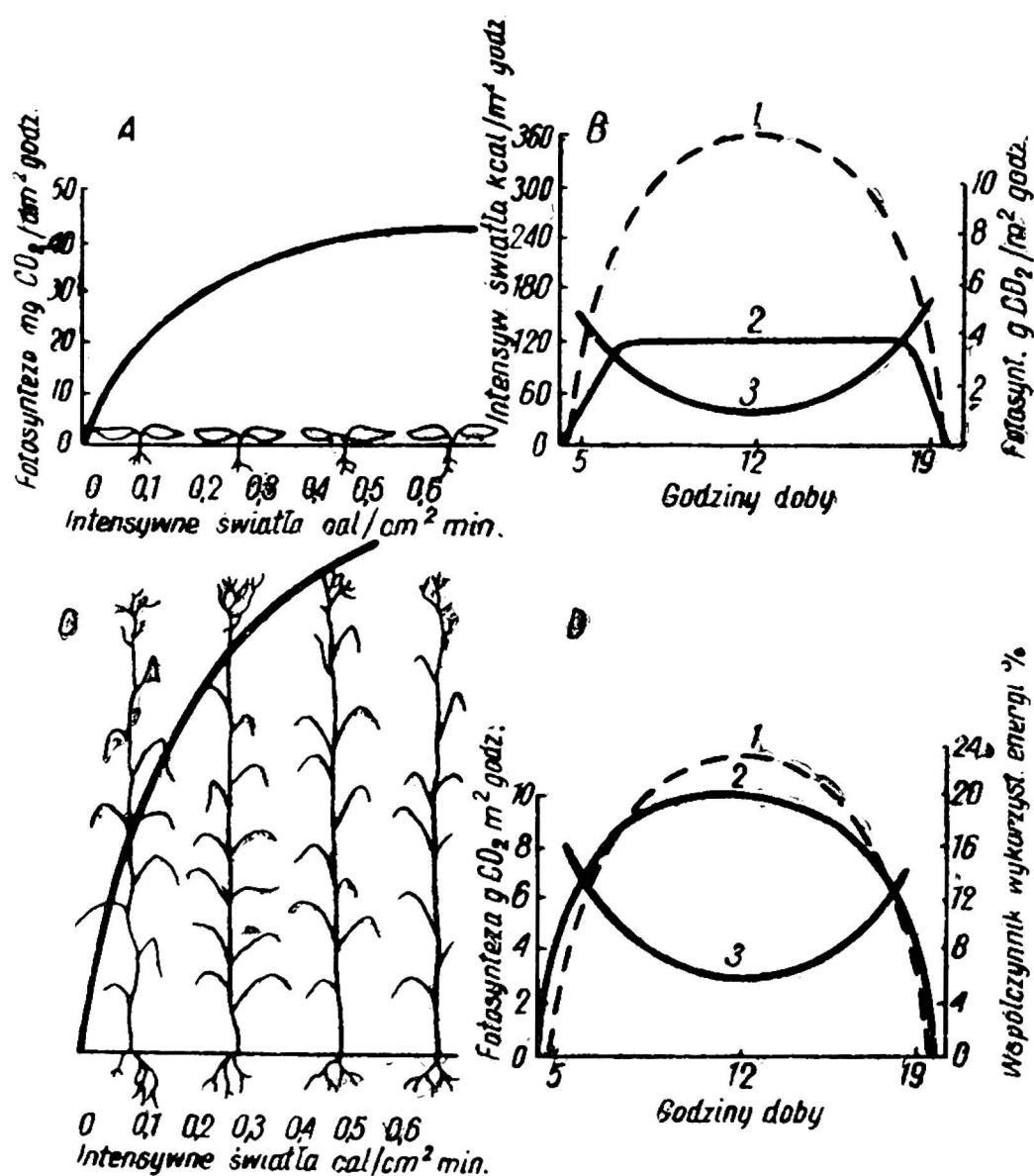
Stopień wykorzystania energii świetlnej przez rośliny zmienia się wraz ze wzrostem intensywności promieniowania słońca. Przy wysokich intensywnościach światła rzędu 0,4—0,6 cal/cm²/min wartość współczynnika wykorzystania energii dla poszczególnych liści roślin waha się w granicach 2—3%, nie przekracza jednak 5—6%. Przy niższych natężeniach promieniowania wartość tego współczynnika jest wyższa (32, 35). Jest to wynikiem niedoskonałości aparatu fotosyntetycznego roślin. Najwyższy współczynnik wykorzystania PhAR przez liście będzie, gdy intensywność światła nieznacznie przekroczy punkt wysycenia. Nie oznacza to wcale, że wyższa intensywność światła nie wpływa na produkcję biomasy przez łąn; przeciwnie przy wysokich intensywnościach światła do liści dolnych lub niekorzystnie zorientowanych do padających promieni dociera znacznie więcej energii.

Struktura łąnu

Wykorzystanie padającego na łąn promieniowania PhAR zależy od struktury tego łąnu. Pod pojęciem struktury łąnu rozumie się cały szereg elementów takich jak: powierzchnia liści, szczególnie stosunek zbio-

rowej powierzchni liści do powierzchni gleby zajmowanej przez łan (tzw. indeks liściowy), orientacja przestrzenna liści, kształt liści, stopień wysycenia przestrzeni przez liście, równomierność rozłożenia liści w pionie oraz wysokość łanu.

Z punktu widzenia uzyskania wysokich intensywności fotosyntezy wszystkich liści w łanie, najbardziej doskonałym (teoretycznie) byłby łan z jedną warstwą liści ściśle do siebie przylegających. Indeks liściowy takiego łanu wynosiłby 1 i łan ten spełniałby funkcje fizjologiczne jak jeden duży liść. Omawiany łan mógłby pochłaniać do 90—95% padającej energii. Przy optymalnych warunkach wilgotnościowych i nawożeniowych, przebieg fotosyntezy takiego łanu byłby taki, jak pojedynczego

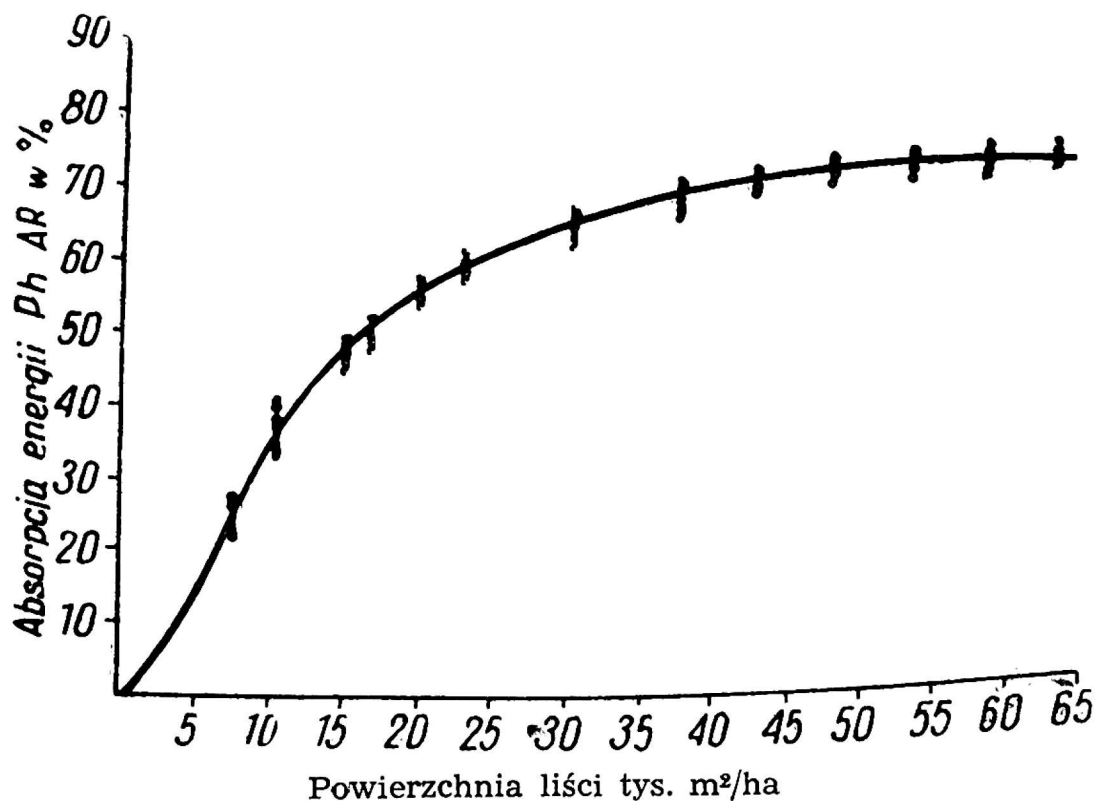


Rys. 2. Model łanu z jedną warstwą liści i jego krzywa świetlna fotosyntezy (A); wskaźniki fotosyntezy dla łanu z jedną warstwą liści (B); łan naturalny i jego krzywa świetlna fotosyntezy (C); to samo co B, ale dla łanu naturalnego (D). 1) dzienny przebieg oświetlenia, 2) intensywność fotosyntezy, 3) współczynnik wykorzystania energii światła (31)

liścia wystawionego na bezpośrednie promieniowanie. Z uwagi na małą powierzchnię pochłaniającą mimo że przez większą część dnia liście w takim łanie znajdowałyby się powyżej punktu wysycenia światłem, wykorzystanie energii PhAR będzie kilkakrotnie niższe niż w łanie rzeczywistym. Krzywa przedstawiająca zależność fotosyntezy od intensywności światła dla łanu rzeczywistego będzie miała o wiele bardziej korzystny przebieg od analogicznej krzywej dla łanu z jedną warstwą liści [rys. 2 (29, 31)].

Na temat najkorzystniejszej zbiorowej powierzchni liści w łanie nie ma pełnej zgodności. Według Nicziporowicza (27, 28, 31, 32, 33), indeks liściowy powinien wynosić 4—5 natomiast wg Rossa i Własowej (42) 7—8, a Kornilow (14) proponuje nawet 7—10. Wielkości te uzależnia się od takich czynników jak: typ rośliny, struktura łanu, warunki oświetlenia, warunki glebowe. Okanienko (34) uzależnia jeszcze wielkość indeksu liściowego od stopnia rozwoju rośliny — tzw. płynne optimum.

Z wielkością indeksu liściowego wiąże się ściśle wielkość strat energii czyli ilość energii padającej na glebę, lub odwrotnie ilość pochłoniętej przez liście energii (rys. 3). Jak widać pochłanianie PhAR szybko wzrasta



Rys. 3. Absorpcja PhAR (w % od padającego) przez łan kukurydzy w zależności od wielkości powierzchni liści (53)

w miarę zwiększania powierzchni liści kukurydzy do 20 000 m²/ha i wynosi około 55%. Przy 30 000 m²/ha liście pochłaniają około 65%, przy 40 000 m²/ha — 69%, a przy 60 000 m²/ha — 78% energii PhAR. Dalsze zwiększenie indeksu liściowego wg Nicziporowicza (27, 33) i Ustienko (53)

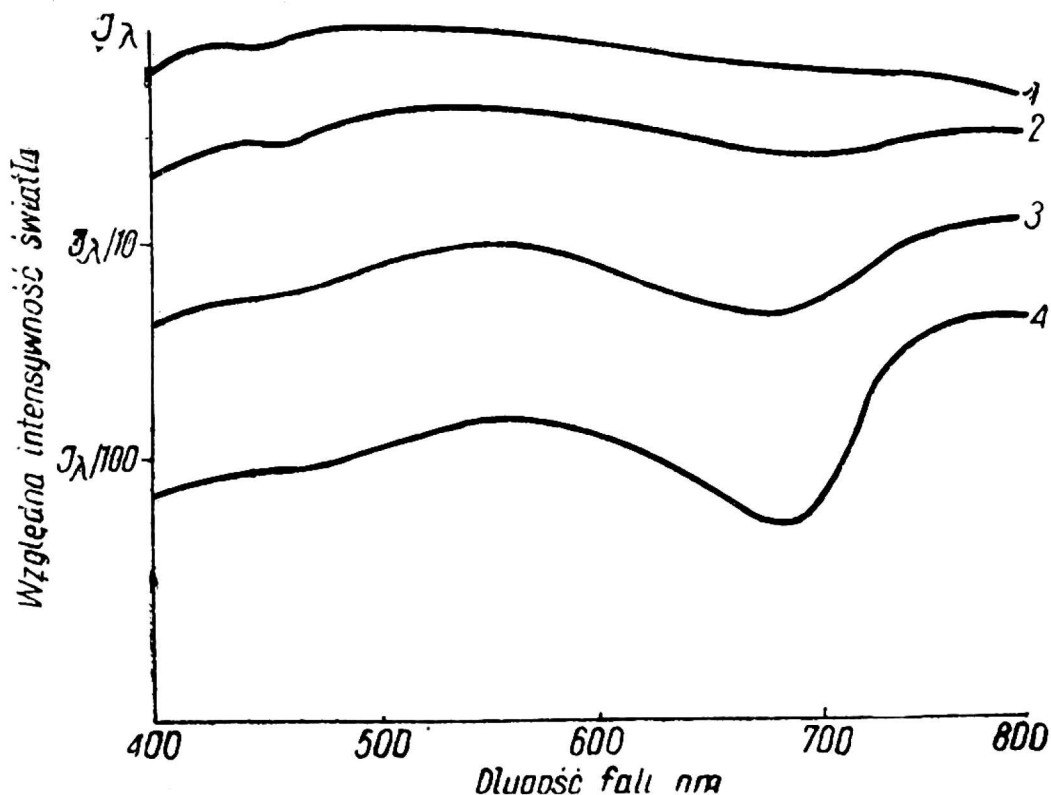
prowadzi do nieznacznego zwiększenia pochłanianej energii oraz do silnego obniżania ogólnej produktywności fotosyntezy roślin na skutek zacielenia się liści dolnych.

Z wielu badań wynika, że wraz ze wzrostem powierzchni liści w łanie obniża się wskaźnik produktywności fotosyntezy. Zależność ta ma charakter liniowy (8, 31, 55, 56). Ustienko (53) w doświadczeniach przeprowadzonych na kukurydzy wykazał, że przy wzroście powierzchni liści od 30 000 do 50 000 m²/ha produktywność fotosyntezy spadała od około 8 do 4 g/m² liści/dobę.

Optymalna wielkość powierzchni liściowej gwarantująca maksymalne dobowe gromadzenie biomasy zależy od szeregu czynników, takich jak: typ rośliny, warunki świetlne, wilgotność środowiska, zaopatrzenie roślin w składniki mineralne, warunki glebowe. Przy doskonalszej strukturze łanu imniejszej wrażliwości roślin na zacielenie, wartość indeksu liściowego niezbędnego do gromadzenia jak największej ilości suchej masy na dobę powinna być wyższa. Wraz ze wzrostem gęstości łanu i powierzchni liści wzrasta ogólny plon suchej masy chociaż biomasa pojedynczych liści zmniejsza się (15, 53). Ten korzystny wzrost plonu suchej masy łanu drogą zwiększenia gęstości obserwuje się do pewnego momentu tzn. do wytworzenia optymalnej powierzchni asymilacyjnej. Po przekroczeniu tej wartości spadek produktywności poszczególnych roślin zachodzi szybciej niż wzrasta liczba roślin na jednostce powierzchni, w wyniku czego spada ogólny plon biomasy.

Z gęstością łanu, wielkością powierzchni asymilacyjnej i wysokością łanu wiąże się przenikanie promieniowania PhAR w głąb zasiewu. W bezchmurne dni łan otrzymuje promieniowanie bezpośrednie i rozproszone. Na skutek silnej absorpcji promieniowania przez liście górne, do głębszych warstw łanu dociera promieniowanie rozproszone. W miarę zwiększania wysokości łanu oraz jego gęstości wzrasta znaczenie promieniowania rozproszonego w procesie fotosyntezy. Wynika to z faktu, że w gęstym łanie zwiększa się obszar cieni tzn. obszar w którym występuje tylko światło rozproszone o intensywnościach o wiele niższych niż intensywność promieniowania bezpośredniego. Zmienia się także skład spektralny światła docierającego do głębszych warstw łanu (rys. 4). Na przenikanie promieniowania PhAR w głąb łanu ma wpływ przestrzenne rozmieszczenie liści i ich orientacja. Podstawowy wkład w fotosyntezę łanu wnoszą liście znajdujące się w prześwitach i oświetlone bezpośrednim promieniowaniem słonecznym (40, 41). Dlatego fotosynteza dolnych warstw łanu jest dużo niższa niż górnych.

Wykorzystanie promieniowania PhAR przez łan zależy także od długości okresu wegetacji uprawianych roślin. Należy pamiętać, że okres wegetacji poszczególnych roślin uprawnych jest krótszy niż całkowity okres



Rys. 4. Zmiany w składzie spektralnym PhAR w łanie kukurydzy w zależności od głębokości łanu (wysokość słońca 40° ; bezchmurne niebo), 1) przy indeksie liściowym (L) = 0, 2) przy $L = 1$; 3) przy $L = 3$; 4) przy $L = 6$ (40)

wegetacyjny w naszym klimacie, co także ogranicza możliwości wykorzystania PhAR. Długość okresu wegetacyjnego w warunkach Polski waha się w granicach 200—220 dni, podczas gdy okres wegetacji roślin uprawnych wynosi np.: dla zbóż jarych 80—110 dni, ziemniaka 100—180 dni (w zależności od odmiany), słonecznika 100—130 dni (17). W przypadku roślin ozimych wegetacja rozpoczyna się wprawdzie jesienią ale kończy z reguły w lipcu, czyli w okresie intensywnego promieniowania słonecznego. Nieco inaczej zagadnienie to przedstawia się w odniesieniu do buraków cukrowych. Okres wegetacyjny buraków pokrywa się w zasadzie z okresem wegetacyjnym charakterystycznym dla naszego klimatu. Ponieważ jednak buraki charakteryzują się bardzo powolnym wzrostem powierzchni liści, szczególnie na początku okresu wegetacji, nie stwarza to możliwości optymalnego wykorzystania padającej na łan energii. Z danych (35) wynika, że od daty wysiewu, tj. 28 kwietnia do 30 czerwca czyli przez 63 dni powierzchnia blaszek liściowych buraków cukrowych stanowiła zaledwie około $1/3$ maksymalnej powierzchni liści w łanie. Pełny rozwój liści buraków zanotowano dopiero około 10 sierpnia, kiedy to sucha masa korzeni stanowiła około $1/3$ końcowego plonu korzeni. Czyli, mówiąc językiem ekonomicznym, dochodzenie łanu do pełnej mocy

produkcyjnej trwało u buraków około 100—110 dni. Natomiast praca łanu na pełnych obrotach tylko około 60—70 dni. Jak więc widać promieniowanie słoneczne przez $2/3$ okresu wegetacyjnego nie jest w pełni wykorzystywane przez łan buraków cukrowych.

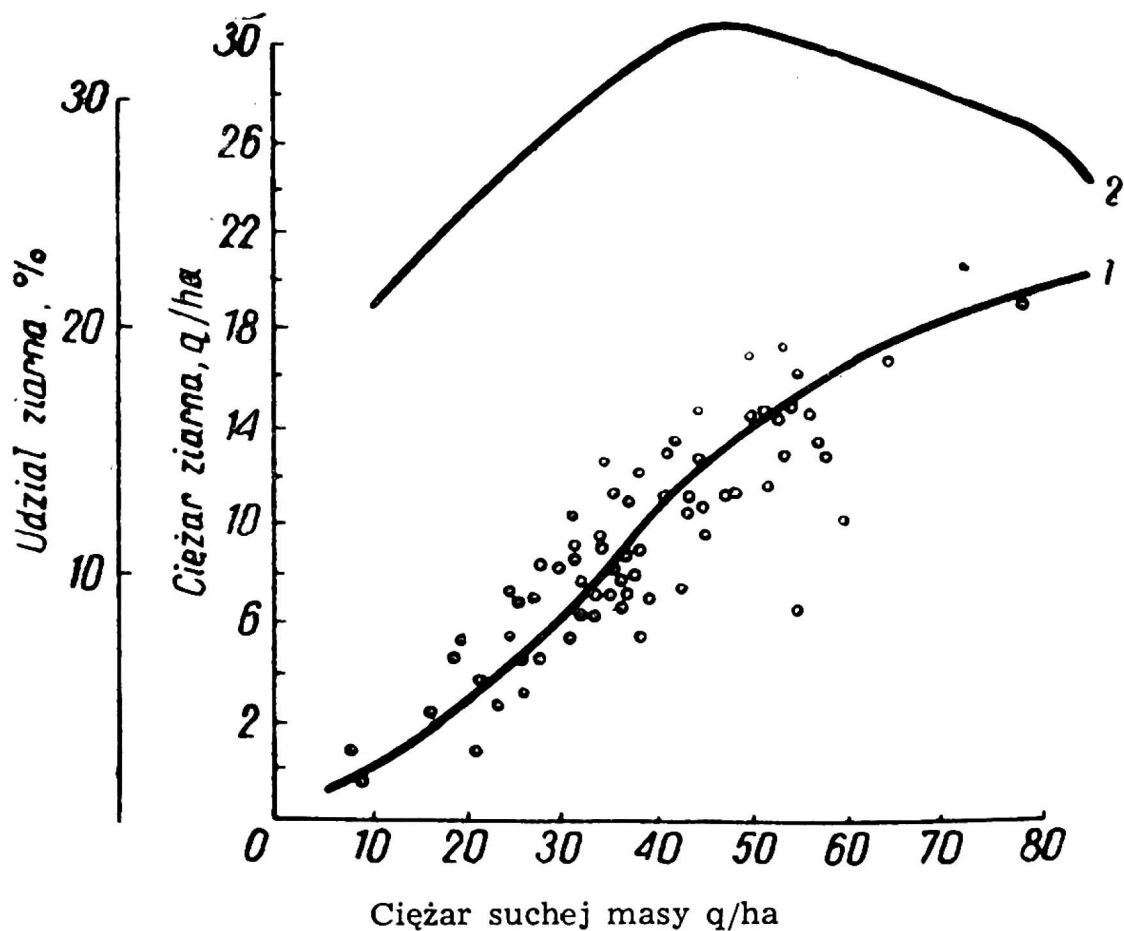
Plon biomasy roślin i plon rolniczy

Plon biomasy roślin zależy od całego szeregu czynników zewnętrznych i właściwości samej rośliny. Badania tych zależności w warunkach naturalnych natrafiają na liczne trudności (9, 37). Ostatnio na podstawie doświadczeń przeprowadzonych w ściśle kontrolowanych warunkach zewnętrznych udało się ustalić, że przyrost a zarazem i plon biomasy zależy bezpośrednio od dwóch elementów od średniej fotosyntezy (netto) liści i od powierzchni asymilacyjnej (36). Wszystkie czynniki zewnętrzne działają na fotosyntezę netto lub przyrost powierzchni asymilacyjnej.

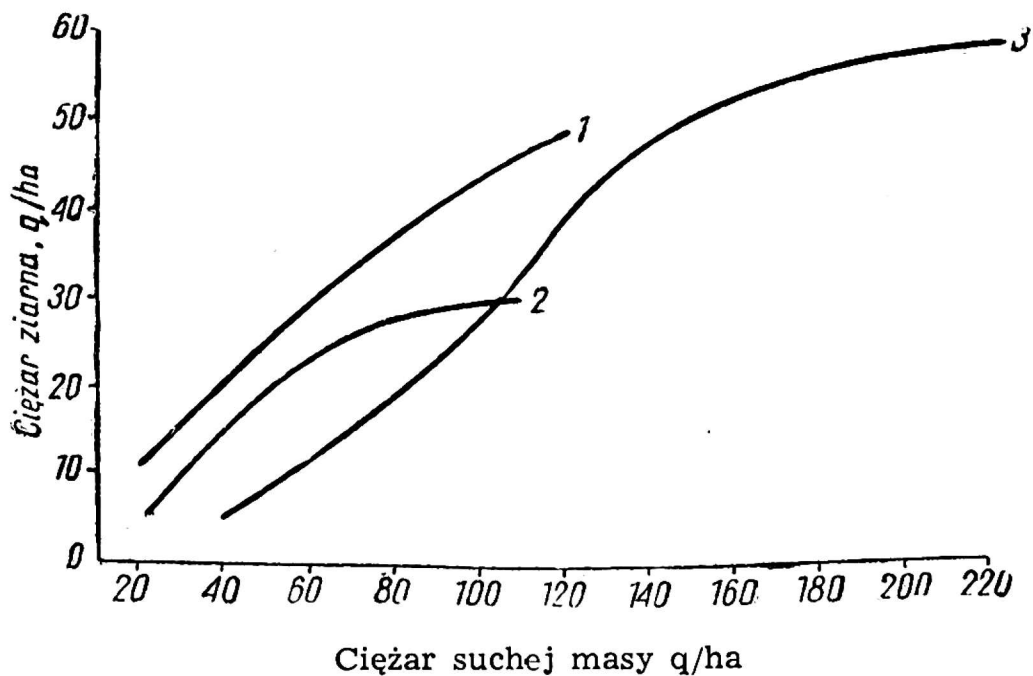
Dawno już została ustalona dodatnia korelacja pomiędzy plonem biomasy a powierzchnią liści roślin w warunkach naturalnych (3, 14, 22, 28, 39, 48, 51, 52, 54, 57). Zależność ta jest dość złożona jeżeli weźmie się pod uwagę, że powierzchnia liści na roślinie, a także w łanie zmienia się w czasie wegetacji.

Najkorzystniejsza dla wysokiego plonu biomasy jest optymalna wielkość powierzchni asymilacyjnej utrzymująca się przez stosunkowo długi okres czasu; czyli chodzi o możliwość szybkiego wykształcenia optymalnej powierzchni asymilacyjnej przez łan i jak najdłuższy okres wysokiej aktywności aparatu fotosyntetycznego. Przy skrajnie dużej powierzchni asymilacyjnej, osiągniętej drogą zagęszczenia łanu, końcowy plon biomasy może być mniejszy (13, 53), na skutek osłabienia poszczególnych roślin, skłonności do wylegania, żółknięcia, usychania lub gnicia dolnych, słabiej oświetlonych liści.

Plon biomasy nie zawsze jest przedmiotem zainteresowania producenta. Na przykład u zbóż, rolnik interesuje głównie ziarno, u ziemniaków tylko bulwy itd. Procentowy udział plonu rolniczego w ogólnym plonie biomasy roślin wyraża współczynnik K_R . Współczynnik ten zmienia się w dość szerokich granicach w zależności od warunków agrotechnicznych, gatunku, odmiany rośliny (18, 19, 45). Jak widać z rys. 5 procentowy udział ziarna żyta w plonie ogólnym obniża się zarówno przy małych jak i dużych ilościach nagromadzonej biomasy. Natomiast plon ziarna z hektara rośnie wraz ze wzrostem biomasy. Wprawdzie zależność ta nie ma charakteru liniowego to jednak wzrost ten jest bezsporny i obserwuje się u wielu roślin zbożowych (rys. 6). Wynika stąd, że wysoki poziom nagromadzenia biomasy jest z jednej strony podstawą do otrzymania wy-

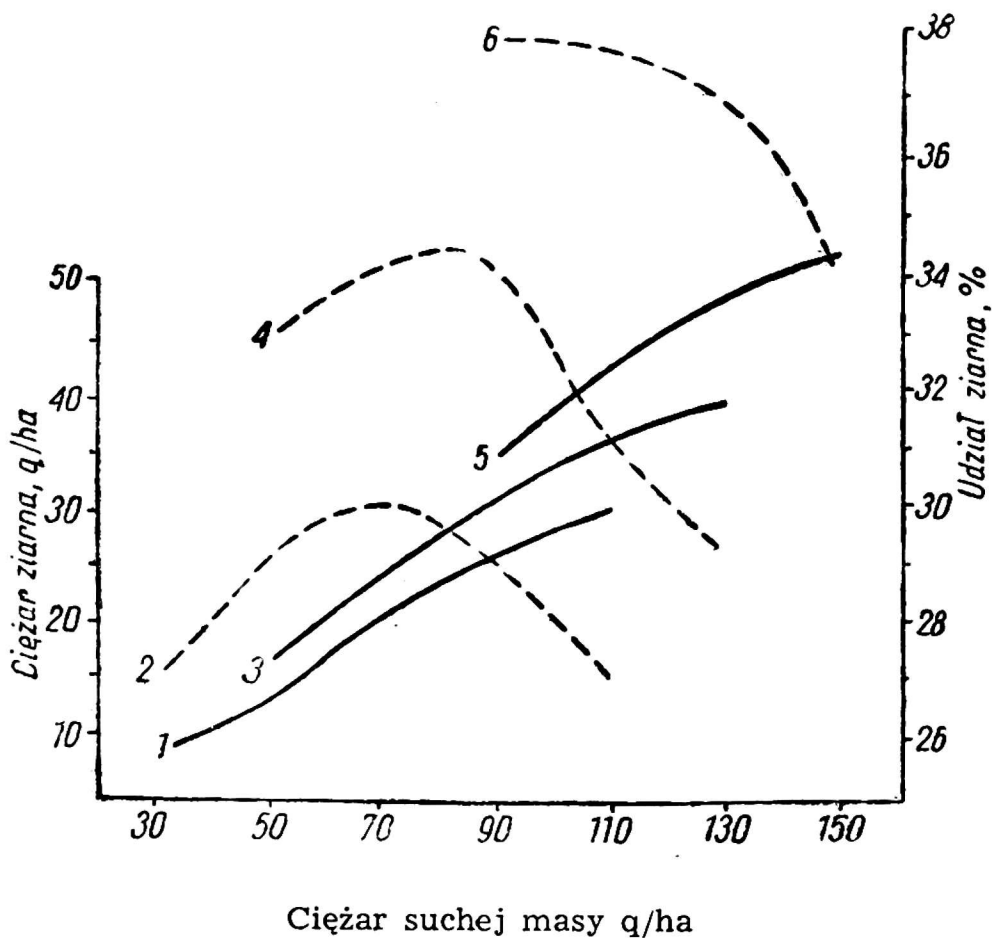


Rys. 5. Zależność plonu ziarna od plonu ogólnej biomasy (s. m.) żyta ozimego (średnia z 71 lat); 1) plon ziarna, 2) udział ziarna (K_R) (18)



Rys. 6. Zależność plonu ziarna od plonu ogólnej biomasy (s. m.) u poszczególnych upraw; 1) jęczmień, 2) owies, 3) kukurydza (18)

sokiego plonu ziarna, z drugiej zaś prowadzi często do obniżenia współczynnika K_R . Przypuszcza się (20), że przy wysokiej ogólnej produktywności fotosyntezy i wynikającego z niej wysokiego poziomu nagromadzenia suchej masy, przyczynami obniżenia współczynnika K_R mogą być — osłabienie warunków świetlnych obserwowane przy silnym rozwoju wegetatywnym roślin, duża strata materii organicznej na budowę tkanek mechanicznych itp. Charakterystyczne jest, że u nowych odmian wartość współczynnika K_R przesunięta jest zawsze w kierunku wyższego plonu biomasy (rys. 7), czyli każda nowa odmiana pszenicy w odróżnieniu od



Rys. 7. Zmiany plonu ziarna i współczynnika K_R w zależności od plonu ogólnej biomasy (s. m.) roślin różnych odmian pszenicy ozimej (18)

1, 2 — odmiana Krasnokołosaja ostistaja (z doświadczeń w latach 1886—1907), 3, 4 — odmiana Ukraina (z doświadczeń w latach 1923—1928, 1944—1961), 5, 6 — odmiana Wieselopodolianskaja 499 (z doświadczeń w latach 1952—1962), 2, 4, 6 — udział ziarna, 1, 3, 5 — ciężar ziarna

poprzedniej charakteryzowała się wyższym K_R oraz wyższym plonem ziarna, nawet przy tym samym poziomie ogólnego plonu suchej masy.

W literaturze (20) zwraca się uwagę, że współczynnik K_R zależy od budowy rośliny, a szczególnie od jej wysokości i stopnia ulistnienia. K_R jest tym wyższy im większy jest stosunek ciężaru liści do pozostałych

organów nadziemnych. Natomiast między K_R a wysokością roślin pszenicy (powyżej 1 m) występuje odwrotna zależność. Nowe odmiany pszenicy (prawdopodobnie i innych zbóż) charakteryzują się jak widać między innymi zmienioną dystrybucją asymilatów; więcej ich gromadzi się w ziarnie.

Model rośliny i ładu

Na podstawie materiału przytoczonego w niniejszym artykule można sobie wyobrazić idealny model rośliny i ładu, o znacznie wyższym niż dotychczas współczynniku wykorzystania energii promieniowania słonecznego aktywnego w fotosyntezie (PhAR). Taki ład powinien charakteryzować się kompleksem odpowiednich cech. Najwięcej miejsca w literaturze poświęca się strukturze ładu (21, 28, 31, 32, 40, 41, 43, 50). Przyjmuje się, że zbliżona do ideału jest taka struktura przy której liście (o optymalnej powierzchni) będą pochłaniały nie mniej niż 80% dochodzącej energii PhAR, przy czym będą one dostatecznie równomiernie oświetlone. Położenie liści górnych na roślinie powinno być jak najbardziej zbliżone do pionu, natomiast kąt ustawienia liści kolejnych niższych pięter powinien się zwiększać aż do kąta prostego. Taka orientacja przestrzenna liści proponowana jest dla stref klimatycznych z intensywnym promieniowaniem słonecznym. W dużych szerokościach geograficznych i rejonach z dużą ilością pochmurnych dni w okresie wegetacji najwięcej promieniowania pochłaniałyby liście ustawione pionowo (31).

Poza optymalną orientacją przestrzenną liści, w omawianych modelach należy uwzględniać inne elementy struktury ładu, takie jak: wysokość roślin, indeks liściowy oraz wynikający z tego stopień wysycenia przestrzeni organami asymilacyjnymi, jak również wskaźnik równomierności rozłożenia powierzchni liści w pionie. Wszystkie te elementy wiążą się z konkretnymi warunkami klimatycznymi, glebowo-agrotechnicznymi itp.

Przy dużych, grubych liściach (np. u buraka) ustawienie ich powinno być zbliżone do pionowego (najniższy stopień zacielenia) lub powinny być oddalone od siebie i położone skrótolegle (słonecznik) [31].

Mówiąc o modelu ładu nie można się ograniczyć tylko do jego struktury, do analizy pionowej. Największe straty energii PhAR wynikają nie z faktu niewłaściwej struktury ładu ale z tego, że okres wegetacji większości uprawianych roślin — jak już było powiedziane jest o około połowę krótszy niż całkowity okres wegetacyjny. W warunkach klimatycznych naszego kraju wprawdzie okres wegetacji niektórych roślin okopowych, jak ziemniaki, a szczególnie buraki cukrowe pokrywa się z okresem wegetacyjnym naszego klimatu, to jednak i w tym przypadku

(o czym była mowa) straty energii w pierwszej połowie okresu wegetacyjnego są olbrzymie. Jak wiadomo wykształcenie optymalnej powierzchni liści u buraków trwa nie mniej niż około 100 dni. Jeśli udałooby się wyhodować odmiany buraków, u których wzrost powierzchni liści byłby przyspieszony o około 50 dni, tzn. gdyby optymalną powierzchnię liści rośliny buraków wytworzyły nie około połowy sierpnia, a np. ok. połowy czerwca to można by przy wystarczającej ilości wody i składników mineralnych otrzymać plon w granicach ok. 1000 g/ha. Wynika to z bardzo prostego obliczenia. Z doświadczeń (35) wiadomo, że średnia produktywności liści buraków wynosi od 5,28—7,24 g suchej masy/m²/dobę, czyli średnio ok. 6 g/m²/dobę. Jeżeli przyjmiemy, że optymalna powierzchnia liści na 1 ha równa 50 000 m² to w ciągu doby rośliny wyprodukują około 300 kg suchej masy. Uwzględniając, że rośliny wytworzą optymalną powierzchnię liściową 50 dni wcześniej to okres wegetacyjny z tą optymalną powierzchnią liści będzie trwał nie 60—70 dni a 110—120 dni. Uzyskany w tym czasie plon wyniesie 300 kg × 110 = 330 q s. masy. Ponieważ sucha masa stanowi ok. 1/5 świeżej masy rośliny buraka, a stosunek masy liści do masy korzeni wynosi średnio 1:3, wówczas zgodnie z przeliczeniem 330 q × 5 uzyskamy ogólny plon 1650 q; z tego 650 q będzie stanowiła masa liści, resztę natomiast masa korzeni. Należy zdać sobie sprawę z pewnego uproszczenia przy takim obliczaniu. Pominięto masę roślin buraków wytworzoną do połowy czerwca.

Jak widać zagadnienie intensywnego wzrostu roślin w początkowym okresie wegetacji, ma z punktu widzenia wykorzystania energii PhAR pierwszorzędne znaczenie.

Przy omawianiu modeli roślin i ładu mało jednak uwagi poświęca się właściwościom fizjologicznym roślin. Elementem, który współdecyduje o plonie biomasy roślin i nie jest dostatecznie doceniany przy rozpatrywaniu modeli roślin jest aktywność aparatu fotosyntetycznego. Należy przy tym zaznaczyć, że chodziłoby o takie odmiany roślin uprawnych, których aparat fotosyntetyczny liści pracowałby ze stosunkowo dużą wydajnością przy różnych intensywnościach światła (31).

Nie mniejsze znaczenie miałyby jeszcze lepsze dostosowanie niektórych roślin do zmieniających się warunków meteorologicznych, szczególnie do spadków temperatury. Jak wiadomo, obniżona temperatura jest głównym hamulcem procesów wzrostowych roślin.

Jeszcze większego znaczenia nabiera problem zwiększenia udziału plonu rolniczego w ogólnym plonie biomasy (współczynnik K_R). Okazuje się, że potencjalne możliwości zwiększenia tego współczynnika (przynajmniej dla niektórych roślin) są olbrzymie (23, 24, 25, 26).

LITERATURA

1. Björkman O.: Characteristics of the photosynthetic apparatus as revealed by laboratory measurements. W: Šetlík I. (ed.), Prediction and Measurement Prediction and Measurement of Photosynthetic Productivity. Proc. of the IBP/PP Technical Meeting, Třeboň, 14—21 Sept. 1969. Pudoc, Wageningen, 267—281, 1970.
2. Czarnowski M.: Ekofizjologiczne studia nad szacunkową metodą oceny produkcji fotosyntetycznej liści wybranych gatunków roślin. Kraków, 1973.
3. Czirkow J. I.: Puti boleje połnogo ispolzowanija klimaticzeskich resursow dla fotosinteticzeskoj diejatielnosti posiewow kukuruzy. W: Fotosintez i woprosy produktiwnosti rastienij. Izd. AN SSSR, Moskwa 88—98, 1963.
4. Czopek (Czarnowski) M.: Ecophysiological studies on photosynthesis and respiration of some plant species in meadow ecosystem. Acta Soc. Bot. Pol. 36, 73—86, 1967.
5. Czopek (Czarnowski) M.: Metody pomiaru światła w ekofizjologii. Wiad. Bot. XII, 1, 1—23, 1968.
6. Daniels F.: Energy efficiency in photosynthesis. W: A. Hollaender (ed.). Radiation Biology 3, 259—292, 1956.
7. Donald C. M.: Competition for light in crops and pastures. W: Mechanism of biol. competition. Sympos. Soc. Exptl. Biol., 1961.
8. Downar W S.: Niekotoryje zakonomiernosti izmienenienija produktiwnosti fotosinteza i optimalnoj płoszczadi listiew u kukuruzy w Biełorussii. W: Waźniejszije problemy fotosinteza w rastienijewodstwie. Izd. Kołos, Moskwa, 298—310, 1970.
9. Gej B.: Wzrost i intensywność fotosyntezy liści różnego wieku niektórych roślin dwuliściennych. Dział Wyd. SGGW, Warszawa 1967.
10. Górski F.: A contribution to the relation between photosynthesis and light intensity. Acta Biol. Crac. Ser. Bot. 2, 61—71, 1960.
11. Górski F.: The equation of the light curve of photosynthesis. Acta Biol. Crac. Ser. Bot. 4, 75—96, 1961.
12. Górski F.: Equation de la caurbe de photosynthese en fonction de l'intensite lumunese. W: La Photosynthese. Edition du Centre National de la Recherche Scientifique. Paris, 1963.
13. Kornher A.: Untersuchungen zur Stoffproduktion von Futterpflanzen beständen II. Über die Lichtverhältnisse in Beständen von Wiesenschwingel (*Festuca pratensis*, Hunds.) und Wiesenlieschgras (*Phleum pratense* L.) in Beziehung zur Bestandsmorphologie und Produktivität. Acta agricult. Scand. 21, 4, 249—263, 1971.
14. Kornilow A. A.: Fotosintez i urozajnost'ziernobobowych kultur na siewier-nom Kaukazie. Fizjol. Rast. 21, 6, 1139—1152, 1974.
15. Kostrej A., Repka J.: Effect of manuring and different density of stand on production of total dry matter and its distribution in plant organism. Acta fytotech. Univ. Agric. Nitra, 25, 47—59, 1972.
16. Kuroiwa S., Tsuno Y., Hirayama T.: Light response curve of total photosynthesis in a rice plant community. JIBP/PP — Photosynthesis Level III Group. Tokyo, 88—92, 1971.
17. Listowski A. i inni: Szczegółowa uprawa roślin t. I i II. PWRiL, Warszawa 1966.
18. Miediniec W. D.: O powyszenii koefficienta chozjajstwiennoj połnocennosti fotosinteza. W: Fotosinteziiuyuszczeji sistemy vysokoj produktiwnosti. Ind. Nauka Moskwa 162—168, 1966.

19. Miediniec W. D.: Puti powyszenija vychoda ziarna w obszczem urozaje ozimoy pszenicy Wistn. s-ch. nauki, 1, 34 1963a.
20. Miediniec W. D.: K fizjologiczeskoj teorii poluczenija wysokich urozajew sielskochozajstwiennych kultur. W: Fotosintez i woprosy produktiwnosti rastienij. Izd. AN SSSR, Moskwa, 132—138, 1963b.
21. Monsi M., Saeki T.: Uber den Lichtfaktor in den Pflanzengesellschaften und seine Bedeutung für die Stoffproduction. Japan J. Bot., 14, 22—52, 1953.
22. Monsi M., Murata Y.: Development of photosynthetic system as influenced by distribution of matter. W: Šetlik I. (ed.), Prediction and Measurement of Photosynthetic Productivity. Proc. of the IBP/PP Technical Meeting, Třeboň, 14—21 Sept. 1969. Pudoc, Wagenisgen, 589—592, 1970.
23. Moszkow B. S.: Wyraszcziwanije rastienij w iskusstwiennych usłowijach kak metod wyjawlenija ich potencjalnoj produktiwnosti rastienij. Izd. AN SSSR, Moskwa, 138—148, 1963.
24. Moszkow B. S.: Potencjalna produktiwnost' rastienij. W: Waźniejszije problemy fotosinteza w rastieniewodstwie. Izd. Kołos, Moskwa, 23—37, 1970.
25. Moszkow B. S.: Rol luzistoj energii w wyjawlenii potencjalnoj produktiwnosti rastienij. XXXII Timiriazewskije cztienija, Izd. Nauka, Moskwa, 1973.
26. Moszkow B. S.: Indywidualnaja produktiwnost' rastienij. Fizjoł. Rast., 21, 3, 647—652, 1974.
27. Nicziporowicz A. A.: Fotosintez i teoria poluczenija wysokich urozajew. XV Timiriazewskije cztienija, Izd. AN SSSR, Moskwa 1956.
28. Nicziporowicz A. A.: O putiach powyszenija produktiwnosti fotosinteza rastienij w posiewach. W: Fotosintez i woprosy produktiwnosti rastienij. Izd. AN SSSR, Moskwa, 5—37, 1963.
29. Nicziporowicz A. A.: KPD zielenogo lista. Izd. Znaniye, Moskwa, 1964.
30. Nicziporowicz A. A.: Fotosintez i woprosy intensifikacii sielskogo chozajstwa. IX Miendelejewskij sjezd. Dokład na plenarnom zasiedanii. Izd. Nauka, Moskwa, 1965.
31. Nicziporowicz A. A.: Zadaczi rabot po izuczeniju fotosinteticzeskoj diejatielnosti rastienij kak faktora produktiwnosti. W: Fotosintezirujuszczije sistemy vysokoj produktiwnosti. Izd. Nauka, Moskwa, 7—50, 1966.
32. Nicziporowicz A. A.: Fotosinteczeskaja diejatielnost' rastienij i puti powyszenija ich produktiwnosti. W: Teoreticzeskije osnovy fotosinteticzeskoj produktiwnosti. Izd. Nauka, Moskwa, 511—526, 1972.
33. Nicziporowicz A. A., Strogonowa L. E., Czmore S. N., Własowa M. P.: Fotosinteticzeskaja diejatielnost' rastienij w posiewach. Izd. AN SSSR, Moskwa, 1961.
34. Okanienko A. S.: Puti powyszenija intensiwnosti i produktiwnosti fotosinteza sacharnej swiokły. W: Waźniejszije problemy fotosinteza w rastieniewodstwie. Izd. Kołos, Moskwa, 184—196, 1970.
35. Okanienko A. S.: Poczinnok N. H. i inni: Intensiwnosti i produktiwnost' fotosinteza i isplolzowanije sołnecznoj radiacii posiewami sielskochozajstwiennych rastienij. W: Fotosintez, rost i ustojcziwost' rastienij. Izd. Naukowa Dumka, Kijew, 28—84, 1971.
36. Olech K., 1975, w druku.
37. Ondok J. P., Přebáň K., Binová J.: Prediction of the net assimilation and relative, growth rates in four years' experiments with young sunflower plants. Flora, 161, 440—450, 1972.

38. Oshima Y., Ino Y.: On the seasonal change of photosynthetic activity of forest floor plants. JIBP/PP — Photosynthesis Level III Group. Tokyo, 38—39, 1972.
39. Pietinow N. S., Browcyna W. M.: Produktiwnost' fotosinteza risa pri razlicznoj gustotie posiewa. W: Fotosintez i woprosy produktiwnosti rastienij. Izd. AN SSSR, Moskwa, 105—121, 1963.
40. Ross J.: Rol sołecznoj radiacji w fotosinteticzeskoj diejatielnosti posiewow. W: Fotosintezirujuszczije sistemy vysokoj produktiwnosti. Izd. Nauka, Moskwa, 59—69, 1966.
41. Ross J.: Ocenka niekotorych faktorow produktiwnosti rastitielnogo pokrowa na osnovanii danych matiematiczeskogo modelirowanija. W: Teoreticzeskije osnovy fotosinteticzeskoj produktiwnosti. Izd. Nauka, Moskwa, 436—450, 1972.
42. Ross J., Własowa M. P.: Biometriczeskaja charakteristika i dinamika razwitija posiewa kukuruzy. W: Fotosintezirujuszczije sistemy vysokoj produktiwnosti. Izd. Nauka, Moskwa, 78—95, 1966.
43. Saeki T.: Interrelationship between leaf amount, light distribution and total photosynthesis in a plant community. Bot. Mag. (Tokyo), 73, 55—63, 1960.
44. Sawada S., Saeki T.: Some photosynthetic characteres of Miscanthus sacchariflours. JIBP/PP — Photosynthesis Level III Group. Tokyo, 11—14, 1969.
45. Sawickij M. S.: Biologiczeskije i agrotechniczeskije faktory wysokich urożajew ziarnowych kultur. Sielschozizdat, Moskwa, 1948.
46. Shiba Y.: Changes of light — photosynthesis curve with leaf age in poplar clones. JIBP/PP — Photosynthesis Level III Group. Tokyo, 46—50, 1972.
45. Sawickij M. S.: Biologiczeskije i agrotechniczeskije faktory wysokich uro-aktywnego w fotosyntezie (PhAR). Wiad. Ekolog. XIX, 2, 186—193, 1973.
48. Strogonowa L. E.: O fotosyntezie kukuruzy w polewach usłowijach. W: Fotosintez i woprosy produktiwnosti rastienij. Izd. AN SSSR, Moskwa, 71—87, 1963.
49. Šetlik I.: Ukoly a cile wyzkumu fotosynthesy u porostu kulturanych rastlin. W. Z. Šestak, J. Čatsky i wsp., (eds), Metody studia fotosyntheiticke produkce rastlin. Akademia, Praha, 54—104, 1966.
50. Szulgin I. A., Klimow S. W., Nicziporowicz A. A.: Ob adaptownosti architektoniki rastienij k sołecznoj radiacji. Fizjoł. Rast., 22, 1, 40—48, 1975.
51. Švihra J.: Tvorba biomasy v procese fotosyntézy pekinskej kapusty (*Brassica pekinensis* Lour). Rostlinna vyroba, 20 (XLVII), 111—115, 1974.
52. Ulman L., Natrová Z., Nátr L.: Některé aspekty teorie tvorby wýnosu u žita. Uroda, 21, 12, 450—451, 1973.
53. Ustienko G. P.: Fotosinteticzeskaja diejatielnost' rastienij w posiewach kak osnowa formirowanija wysokich urożajew. W: Fotosintez i woprosy produktiwnosti rastienij. Izd. AN SSSR, Moskwa, 37—70, 1963.
54. Ustienko G. P., Jagnowa S. P.: Opyt programmirowannogo połuczenija wysokich urożajew kukuruzy po zadannym KPD energii sołecznoj radiacji. W: Fotosintezirujuszczije sistemy vysokoj produktiwnosti. Izd. Nauka, Moskwa, 178—192, 1966.
55. Verhagen A. M. W., Wilson J. H., Britten E. J.: Plant production in relation to foliage illumination. Ann. Bot., N. S., 27, 626—640, 1963.
56. Watson D. J.: The dependence of net assimilation rate on leaf area index. Ann. Bot., N. S., 22, 37—54, 1958.

57. Winogradow W. N.: Optimalnaja listowaja powierzchnost u odnoletnich bobowych kultur dla połączeniya wysokich urożajew. *Fizjoł. Rast.*, 15, 2, 261—262, 1968.
58. Zurzycki J.: *Fotosynteza a problemy wyżywienia*. Nowości nauki i techniki. Warszawa, 1963.