ACTA AGROBOTANICA
Vol. XXXI (1/2): 21—32, 1978

Formowanie powierzchni asymilacyjnej i biomasy przez rośliny buraków cukrowych

K. OLECH i Z. K. BLAMOWSKI

Instytut Przyrodniczych Podstaw Produkcji Roślinnej
Akademii Rolniczej w Lublinie

(Przyjęto: 30 X 1976)

K. Olech and Z. K. Blamowski (*Institute of Natural Principles of Plant Production, Agricultural Academy, Lublin, Poland*) Acta Agrobotanica 31 (1/2): 21—32, 1978.

Formation of the assimilation area and biomass by sugar beet plants

Measurements were carried out of the assimilation area, NAR value, the crop growth rate (C) and of the yield of roots and leaves of sugar beet plants in a production field during two successive vegetation years. An interdependence was found between the formation of the assimilation area in the canopy and the final yield of biomass. The assimilation area depended mainly on the date of sowing. In 1975, the sowing was earlier by 15 days, and this resulted in a much more favourable LAI and in a higher yield of biomass. During both vegetation years, a violent decrease of the crop growth rate was observed at the end of August and at the beginning of September. This may be due to an unfavourable change in the ratio of the area of younger, photosynthetically active leaves to older, less active leaves and also to the increased participation of the loss of the assimilates resulting from stronger respiration of the fast growing roots while the photosynthesis of the whole plants decreases.

WSTĘP

Formowanie się plonu roślin w warunkach polowych jest procesem złożonym, uwarunkowanym splotem czynników środowiska, zabiegów agrotechnicznych oraz właściwościami genetycznymi roślin.

W ostatnich latach przeprowadzono liczne badania, których celem było poznanie zależności między procesami fizjologicznymi a warunkami środowiska i formowaniem się plonu roślin (Niczipporovicz 1956, 1972; Niczipporovicz, Strogonova i in. 1961; Ustienko 1963; Ross 1966; Ross, Własova 1966; Repka i in. 1974).

Szczególnie wiele uwagi poświęcono ustaleniom związku między

kształtowaniem się powierzchni asymilacyjnej, fotosyntezą a plonowaniem roślin (Watson 1958; Czirkov 1963; Niczipporovicz 1963, 1966; Pietinov i Brovcyna 1963; Strogonova 1963; Verhagen i in. 1963; Ustienko i Jagnova 1966; Vinogradov 1968; Monsi i Murata 1969; Dovnar 1970; Kornher 1971; Kostrej i Repka 1972; Ulman i in. 1973; Korniłov 1974).

Wiele badań poświęcono także analizie wzrostowej buraka cukrowego (Loach 1970; Okanienko, Poczinok i in. 1971; Watson i in. 1972).

Nie ulega wątpliwości, że określenie głównych, decydujących o plonowaniu, parametrów produktywności roślin może mieć pierwszorzędne, zarówno poznawcze, jak i praktyczne znaczenie.

Celem naszych badań było określenie współzależności między plonem a niektórymi parametrami wzrostu buraka cukrowego w łanie, w dwu kolejnych latach wegetacji. W badaniach chodziło głównie o ustalenie zależności między tempem wzrostu powierzchni asymilacyjnej, jej okresem aktywności oraz plonem przy dwu różnych układach warunków meteorologicznych. Ponadto chodziło o dokładne prześledzenie przebiegu parametrów produktywności buraka cukrowego w okresie wegetacji.

METODYKA

Badania przeprowadzono na produkcyjnych polach buraków cukrowych w Rolniczym Zakładzie Doświadczalnym Lubin—Felin w latach 1974-1975. Chodziło nam o materiał z plantacji produkcyjnych, na których stosuje się przyjętą w gospodarstwie agrotechnikę.

Gleby Felina utworzone są na lekkiej glince pylastej. Zawartość próchnicy waha się od 1,0-1,5%. Odczyn gleby jest zbliżony do obojętnego (pH 6,0-6,6).

W obu latach, w których prowadzono doświadczenia, przedplonem była pszenica ozima. W roku 1974 zastosowano następujące nawożenie (na 1 ha): około 350 q obornika, 20 q wapna magnezowego, 160 kg P_2O_5 jako superfosfat, 240 kg K_2O jako siarczan potasu oraz 160 kg azotu w postaci mocznika przed siewem i jako saletra amonowa pogłównie. W roku następnym: około 400 q obornika, 150 kg P_2O_5 jako superfosfat, 240 kg K_2O jako 60% soli potasowej oraz 200 kg azotu w postaci mocznika przed siewem i jako saletra amonowa pogłównie. Wyższa dawka azotu oraz nieco wyższa dawka obornika w 1975 r. podyktowana była faktem, że zastosowany w 1974 r. obornik był dużo lepiej przefermentowany.

W roku 1974 nasiona buraków wysiano 25 kwietnia. Wschody roślin pojawiły się 17 maja. W 1975 roku korzystny układ warunków meteoro-

logicznych umożliwił wcześniejszy siew, tj. 10 kwietnia. Wschody pojawiły się po 20 dniach, tj. 30 kwietnia. Zarówno w roku 1974, jak i w 1975 wysiewano nasiona odmiany 'AJ Polycama'. Rośliny wyrastały w rozstawie 50 cm×25 cm (8 szt./m^2).

W trakcie wegetacji roślin, w odstępach czasu 7-12 dni, losowo pobierano z pola po 10 roślin, a następnie oznaczano dla każdej:

— wielkość powierzchni asymilacyjnej blaszek liściowych (metodą planimetryczną);

— suchą masę blaszek liściowych, ogonków liściowych oraz korzeni, a także obliczano następujące wskaźniki;

— dynamikę wzrostu powierzchni asymilacyjnej na roślinie;

— indeks liściowy (LAI), tj. stosunek powierzchni asymilacyjnej roślin do powierzchni łanu;

— dynamikę gromadzenia biomasy przez liście i korzenie;

— asymilację netto (NAR) w g suchej masy×m^{-2} liści×$doba^{-1}$ według wzoru:

$$\frac{2(W_2-W_1)}{(A_2+A_1)(t_2-t_1)};$$

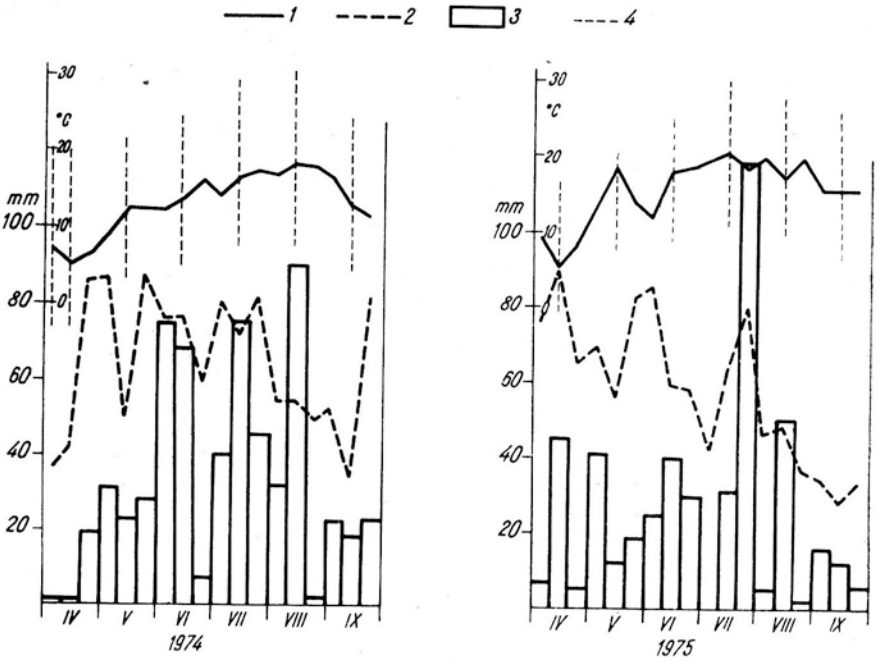
gdzie: W_1 i A_1 — początkowa sucha masa rośliny i jej powierzchnia asymilacyjna, W_2 i A_2 — sucha masa rośliny i jej powierzchnia po czasie t_2-t_1 (Kvét, Ondok i in. 1971),

— wskaźnik intensywności wzrostu plonu biomasy z jednostki powierzchni łanu (C) w g suchej masy×m^{-2} łanu×$doba^{-1}$ według wzoru: LAI×NAR.

PRZEBIEG POGODY

Niektóre czynniki meteorologiczne w sezonach wegetacyjnych lat 1974-1975 przedstawiono na rysunku 1 oraz w tabeli 1 (dane uzyskano ze stacji meteorologicznej w Felinie).

Sezon wegetacyjny 1974 r. charakteryzował się stosunkowo niską temperaturą powietrza zarówno na początku (w kwietniu występowały jeszcze przymrozki przygruntowe), jak i w pozostałym okresie (szczególnie w I i II dekadzie czerwca oraz we wrześniu). W tym okresie wegetacyjnym było bardzo dużo opadów — łącznie od kwietnia do końca września — 599,8 mm. Zdecydowanie największe opady wystąpiły w I i II dekadzie czerwca oraz w II dekadzie lipca i sierpnia. Zachmurzenie ulegało znacznym wahaniom, a największe obserwowano w okresach nasilonych opadów. Stosunkowo małym zachmurzeniem charakteryzował się sierpień i pierwsza połowa września. Od daty wschodów roślin (17 V) do momentu ostatniego pomiaru (21 IX) było 13 dni, w których zachmurzenie wynosiło 100%. W tym samym okresie było 19 dni z usłonecznie-



Rys. 1. Warunki meteorologiczne w latach 1974-1975 (Lublin — Felin)

1 — średnia dekadowa temperatura powietrza, *2* — średnie dekadowe zachmurzenie, *3* — dekadowa suma opadów, *4* — maksymalne i minimalne temperatury powietrza w miesiącu

Fig. 1. Meteorological conditions in the years 1974-1975 (Lublin — Felin)

1 — mean decade air temperature, *2* — mean decade cloud cover, *3* — sum of decade precipitation, *4* — maxima and minima of air temperature during the month

niem od 0,1-0,9 godz., 92 dni z usłonecznieniem od 1,0-10,0 godz. oraz 9 dni z usłonecznieniem powyżej 10 godzin (z tego 4 dni w sierpniu).

Sezon wegetacyjny 1975 r. charakteryzował się znacznie wyższymi temperaturami powietrza niż sezon roku 1974. Z wyjątkiem I i III dekady maja oraz I dekady czerwca, w których notowano stosunkowo niskie temperatury, w pozostałych okresach było bardzo ciepło. Opadów spadło w sumie 469,5 mm, a więc o 130,3 mm mniej niż w analogicznym okresie poprzedniego roku. Razkład ich był dosyć równomierny. Wyjątkowa pod tym względem była I dekada lipca — bez opadów oraz III dekada lipca, w której zanotowano rekordową ilość opadów — 118,8 mm. W tym czasie 100% zachmurzenie nieba obserwowano w ciągu 14 dni. Dni ze słońcem od 0,1-0,9 godz. było 8, od 1,0-10,0 godz. — 76 i powyżej 10 godz. — 45 (najwięcej w sierpniu — 24 i lipca — 17).

Ogólnie należy stwierdzić, że sezon wegetacyjny 1974 roku charakteryzował się niższymi temperaturami powietrza, większą ilością opadów, jak również mniejszą ilością dni słonecznych w porównaniu z sezonem wegetacyjnym roku 1975.

Tabela 1—Table 1

Niektóre dane meteorologiczne z okresów wegetacji buraków cukrowych w latach 1974-1975

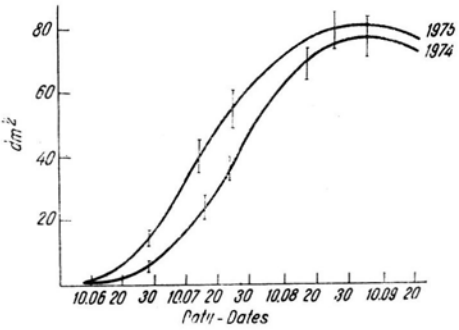
Some meteorological data concerning the vegetation periods of sugar beet plants in the years 1974-1975

Miesiąc Month	Dekada Decade	1974					1975				
		dni z usłonecznieniem — days of insolation				liczba dni z deszczem number of rainy days	dni z usłonecznieniem — days of insolation				liczba dni z deszczem number of rainy days
		bez słońca without sunny	od 0,1-0,9 godz. from 0.1 to 0.9 hours	od 1,0-10,0 godz. from 1.0 to 10.0 hours	powyżej 10,0 godz. above 10 hours		bez słońca without sunny	od 0,1-0,9 godz. from 0.1 to 0.9 hours	od 1,0-10,0 godz. from 1.0 to 10.0 hours	powyżej 10,0 godz. above 10 hours	
V	I						2	—	6	2	4
	II	2	—	6	2	3	—	—	7	3	4
	III	—	3	8	—	9	2	2	5	2	5
VI	I	3	2	4	1	8	5	—	5	—	6
	II	3	—	7	—	7	—	1	5	4	7
	III	—	—	10	—	5	1	1	5	3	4
VII	I	1	1	7	1	8	—	—	3	7	—
	II	1	2	6	1	7	—	—	10	—	6
	III	1	3	7	—	6	2	3	3	3	7
VIII	I	—	1	8	1	4	—	—	5	5	4
	II	—	2	8	—	3	—	1	5	4	3
	III	2	2	4	3	1	—	—	5	6	2
IX	I	—	2	8	—	4	2	—	2	6	4
	II	—	1	9	—	2	—	—	10	—	1
W sezonie During the season		13	19	92	9	6[illegible]	14	8	76	45	57

WYNIKI BADAŃ

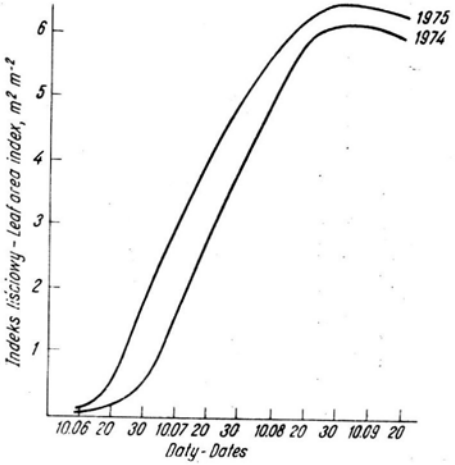
Końcowy plon zarówno całych roślin, jak i korzeni, w badanych latach był różny. W 1975 r. zebrano około 22% więcej biomasy niż w 1974. Różnica w plonie korzeni na korzyść 1975 r. była jeszcze większa (rys. 4).

Wyższy plon buraków w 1975 r. w porównaniu z rokiem 1974 spowodowany był głównie wcześniejszym siewem i w rezultacie dłuższym okresem wegetacyjnym oraz korzystniejszymi warunkami świetlnymi. Wcześniejszy o 15 dni siew pozwolił na znacznie wcześniejsze wytworzenie stosunkowo dużej powierzchni asymilacyjnej roślin (rys. 2). Indeks liściowy oznaczony 30 czerwca w 1975 r. był ponad 3 razy wyższy od LAI roślin zebranych w tym samym terminie w 1974 r. (rys. 3). 10 lipca



Rys. 2. Wzrost powierzchni asymilacyjnej

Fig. 2. Increase of assimilation area

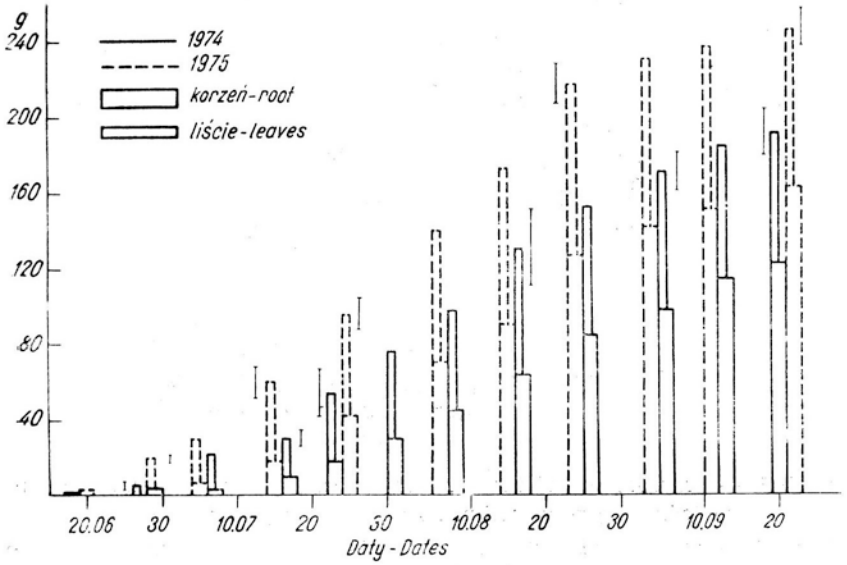


Rys. 3. Dynamika zmian indeksu liściowego (LAI)

Fig. 3. Dynamic of leaf area index (LAI)

1975 r. wskaźnik ten był jeszcze dwa razy wyższy niż 10 lipca 1974 r. Wprawdzie w późniejszym terminie różnice te zaczynają zmniejszać się, lecz jak to widać z rysunku 3, w roku 1975 indeks liściowy był do końca wegetacji nieco wyższy niż w roku poprzednim. Zaobserwowane w naszych badaniach różnice w indeksie liściowym pod koniec wegetacji, mimo jednakowej gęstości siewu, mogły wyniknąć z korzystniejszych warunków świetlnych w 1975 r. (tab. 1), jak również z nieco wyższej dawki nawozów azotowych.

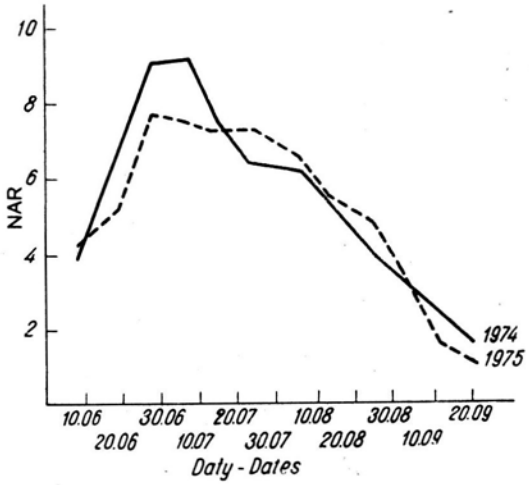
O ile indeks liściowy kształtował się w 1975 r. o wiele korzystniej niż w roku poprzednim, to taki wskaźnik jak asymilacja netto (NAR) średnio dla obu lat był jednakowy, a na początku wegetacji był on nawet korzystniejszy dla roku 1974 (rys. 5). Szybsze gromadzenie biomasy przez



Rys. 4. Gromadzenie biomasy w przeliczeniu na jedną roślinę
Fig. 4. Accumulation of biomass, calculated per one plant

jednostkę powierzchni liści na początku okresu wegetacji w roku 1974 wynika prawdopodobnie z faktu niższego indeksu liściowego, a zatem i korzystniejszych warunków oświetleniowych liści w łanie oraz, być może, z korzystniejszych warunków wilgotnościowych panujących na początku okresu wegetacji w 1974 r. w porównaniu z analogicznym okresem roku 1975 (tab. 1) oraz wyższych wartości NAR.

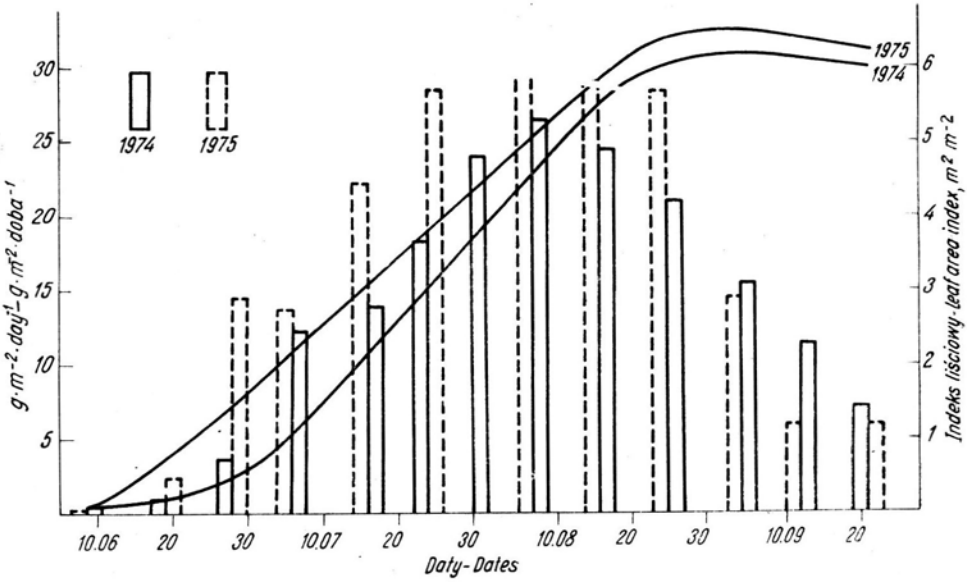
Przebieg wartości NAR dla obu okresów wegetacyjnych ma charakter jednowierzchołkowych krzywych. Na początku wartość tego wskaźnika szybko wzrasta a następnie — powoli spada. O ile niska wartość na początku wegetacji jest w tej chwili trudna do interpretacji, to powolny spadek od początku lipca wydaje się być zrozumiały. Wynikać on może z wielu przyczyn. Gromadzenie biomasy przez rośliny buraków w przeliczeniu na jednostkę powierzchni asymilacyjnej i dobę (NAR) średnio w obu latach wegetacji było jednakowe (wynosiło 5,2 $g \cdot m^{-2} \cdot doba^{-1}$) natomiast wskaźnik intensywności wzrostu plonu biomasy z jednostki powierzchni łanu (C) przez cały okres wegetacji był znacznie wyższy w roku 1975 niż w 1974 (rys. 6). Jest to zrozumiałe gdyż gromadzenie biomasy w 1975 roku było wynikiem fotosyntezy o wiele większej powierzchni liści. Wcześniejszy siew, mimo powolnego wzrostu roślin na początku wegetacji (rys. 7), był korzystny ze względu na przesunięcie w czasie rozpoczęcia wykorzystywania promieniowania słonecznego przez łan buraków. Wcześniejsze wykształcenie powierzchni asymilacyjnej



Rys. 5. NAR — przyrost suchej masy rośliny, tzw. asymilacja netto w przeliczeniu na jednostkę powierzchni liści i dobę (w $g \cdot m^{-2} \cdot doba^{-1}$)

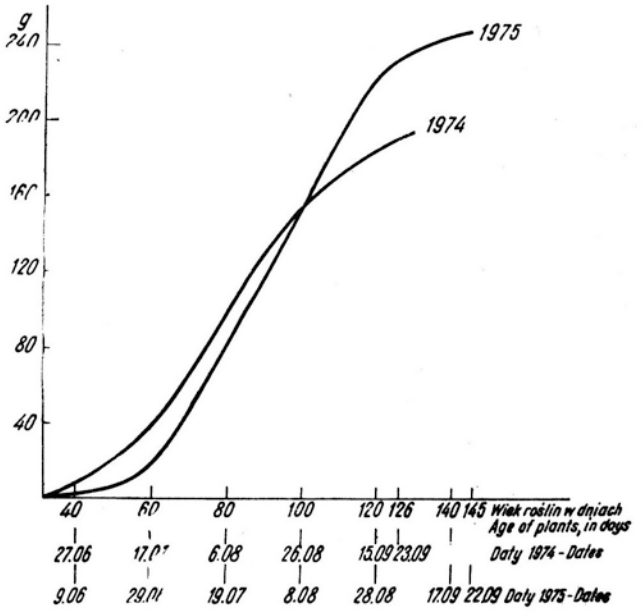
Fig. 5. NAR — increase of dry mass of a plant, calculated for a leaf area unit and day (in $g \cdot m^{-2} \cdot day^{-1}$)

pozwoliło na zwiększone wykorzystywanie energii świetlnej w miesiącu maju i czerwcu, kiedy dni są długie i słoneczne. Jest to bardzo ważne, ponieważ — jak widać z rysunku 6 — wykorzystanie promieniowania



Rys. 6. Dynamika szybkości przyrostu plonu biomasy C=LAI · NAR oraz indeks liściowy LAI

Fig. 6. Dynamic of crop growth rate C=LAI · NAR and LAI



Rys. 7. Wzrost biomasy pojedynczych roślin zestawionych wg wieku liczonego w dniach od wschodów

Fig. 7. Increase of biomass of particular plants to set according its age counted in days since germination

słonecznego przez łan buraków w drugiej połowie sierpnia zaczyna szybko spadać. Spadek ten trudno wytłumaczyć warunkami meteorologicznymi, gdyż zarówno temperatura, jak i nasłonecznienie (przynajmniej w sierpniu i na początku września 1975 roku) były dość wysokie.

Z zestawienia krzywych wzrostu biomasy roślin buraków w obu latach wegetacji, przy oznaczeniu na osi x wieku roślin w dniach, widać (rys. 7), że na początku wegetacji w 1974 r. wzrost ten przebiegał szybciej niż w 1975 r. Było to spowodowane prawdopodobnie korzystniejszymi warunkami meteorologicznymi tym bardziej, że odbywało się to 15 dni później niż w roku następnym.

PODSUMOWANIE I DYSKUSJA

Prześledzenie kształtowania się wskaźników produktywności roślin buraków cukrowych pozwoliło na ustalenie pewnych współzależności między plonem a niektórymi parametrami wzrostowymi.

Nie ulega wątpliwości, że istnieje współzależność między kształtowaniem się powierzchni asymilacyjnej łanu a plonem. Zależność ta była obserwowana wielokrotnie (Niczipporovicz 1963; Strogono-

va 1963; Vinogradov 1968; Monsi i Murata 1969; Ulman 1973; Korniłov 1974; Švihra 1974). Wprawdzie z badań Watsona i in. (1972) wynika, że w warunkach zacieniania zależność ta może ulegać modyfikacji, ale to już nieco inne zagadnienie.

Bezspornym wydaje się być fakt, że jednym z najważniejszych elementów wpływających na stosunkowo szybkie wykształcenie dużej powierzchni asymilacyjnej u buraków jest wczesny siew. Wcześniejsze wytworzenie liści wpłynęło na zwiększone wykorzystanie promieniowania słonecznego długich i słonecznych dni maja i czerwca. Widać to wyraźnie na rysunku 6, gdzie przedstawiono wskaźnik intensywności wzrostu plonu biomasy z jednostki powierzchni łanu. Wartość tego wskaźnika w 1975 r., mimo niższej wartości NAR w początkowym okresie wegetacji, dzięki korzystniej kształtującemu się indeksowi liściowemu była o wiele wyższa.

Zwróciliśmy uwagę na fakt szybkiego spadku wartości wskaźnika C (intensywność wzrostu plonu biomasy) pod koniec sierpnia, a szczególnie na początku września, w okresie kiedy indeks liściowy osiąga maksimum wartości. Spadek ten trudno wytłumaczyć pogarszaniem się warunków meteorologicznych oraz skracaniem dnia. Warunki meteorologiczne w okresie wegetacyjnym 1975 r. były stosunkowo korzystne i nie powinny w takim stopniu wpłynąć na spadek przyrostu plonu. O tym, że warunki meteorologiczne poszczególnych podokresów całego okresu wegetacyjnego (od maja do października) tylko w niewielkim stopniu wpływają na produktywność fotosyntezy u buraków cukrowych donosi Repka i in. (1974).

Spadek ten jest prawdopodobnie wynikiem wielu przyczyn. Przy zwiększającym się indeksie liściowym, w wyniku zwiększającego zacieniania się liści oraz ze względu na zmianę stosunku liści młodych do starszych oraz stosunku masy liści do korzeni, spada wartość NAR. Spadek asymilacji netto spowodowany może być także, na co zwraca uwagę wielu autorów (Listeri Krotkov 1967; Strack i Ubysz 1974), zwiększonym udziałem strat wynikających ze wzmożonego oddychania szybko rosnących korzeni, przy obniżającej się fotosyntezie całych roślin.

Czy wszystkie wymienione elementy w równym stopniu przyczyniają się do spadku przyrostu plonu — jest sprawą otwartą.

SUMMARY

The investigations were conducted on production fields of sugar beet (variety 'AJ Polycama') in the years 1974-1975. Growth analyses of the plants were carried out by calculating the growth rate of the assimilation area of a plant, the leaf

area index (LAI), the rate of accumulation of biomass by the leaves and roots, the net assimilation rate (NAR) and the crop growth rate (C=NAR · LAI).

The investigations confirmed the previously suggested interdependence between the formation of the assimilation area in the canopy and the final yield of biomass. The mean NAR value was the same in both vegetation periods (about 5.2 $g \cdot m^{-2} \cdot day^{-1}$), but, in spite of that, a higher yield of biomass, both leaves and roots, was obtained in 1975. This was due to a more favourable LAI and to a longer period of the photosynthetic activity of the leaves (mainly due to earlier sowing). Also, the crop growth rate was higher, due to the higher LAI, in 1975 than in 1974. During the years studied a violent decrease of this parameter (C) was observed at the end of August and at the beginning of September. This may be due to the unfavourable change in the ratio of the area of younger, photosynthetically active leaves versus older, less active leaves and also to the increased participation of the loss of the assimilates resulting from stronger respiration of the fast growing roots while the photosynthesis of the whole plants decreases.

LITERATURA

Czirkov J. I., 1963. Puti boleje pełnogo ispolzovanija klimaticzeskich resursov dla fotosinteticzeskoj diejatielnosti posievov kukuruzy. [W:] Fotosintez i voprosy produktivnosti rastienij. Izd. AN SSSR, Moskva, 88-98.

Dovnar V. S., 1970. Niekotoryje zakonomiernosti izmienienija produktivnosti fotosinteza i optimalnoj płoszczadi listiev u kukuruzy v Biełorussii. [W:] Ważniejszije problemy fotosinteza v rastienijevodstvie. Izd. Kołos, Moskva, 298-310.

Kornher A., 1971. Untersuchungen zur Stoffproduktion von Futterpflanzenbeständen. II. Über die Lichtverhältnisse in Beständen von Wiesenschwingel (*Festuca pratensis*, Hunds.) und Wiessenlieschgras (*Phleum pratense* L.) in Beziehung zur Bestandsmorphologie und Produktivität. Acta Agricult. Scand. 21 (4): 249-263.

Kornilov A. A., 1974. Fotosintez i urożajnost' ziernobobovych kultur na sieviernom Kaukazie. Fizjol. Rast. 21 (6): 1139-1152.

Kostrej A., Repka J., 1972. 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.

Květ J., Ondok J. P., Nečas J., Jarvis P. G., 1971. Methods of growth analysis. [In:] Plant photosynthetic production. Manual of methods. Ed. by Z. Šestak, J. Čatsky and P. G. Jarvis. Dr W. Junk N. V. Publ. The Hauge, 343-391.

Lister G. R., Slankis V., Krotkov G., Nelson C. D., 1967. Physiology of *Pinus strobus* L. seedlings grown under high or low soil moisture conditions. Ann. Bot. 31: 121-132.

Loach K., 1970. Analysis of differences in yield between six sugar-beet varieties. Ann. Apll. Biol. 66: 217-223.

Monsi M., Murata Y., 1970. Development of photosynthetic systems 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, Wageningen, 589-592.

Niczipporovicz A., A., 1956. Fotosintez i teoria połuczenija vysokich urożajev. XV Timiriazevskije cztienija. Izd. AN SSSR Moskva.

Niczipporovicz A. A., 1963. O putiach povyszenija produktivnosti fotosinteza rastienij v posievach. [W:] Fotosintez i voprosy produktivnosti rastienij. Izd AN SSSR, Moskva, 5-37.

Niczipporovicz A. A., 1966. Zadaczi rabot po izuczeniju fotosinteticzeskoj diejatielnosti rastienij kak faktora produktivnosti. Izd. Nauka, Moskva, 7-50.

Niczipporovicz A. A., 1972. Fotosinteticzeskaja diejatielnost' rastienij i puti povyszenija ich produktivnosti. [W:] Teoreticzeskije osnovy fotosinteticzeskoj produktivnosti. Izd. Nauka, Moskva, 511-526.

Niczipporovicz A. A., Strogonova L. E., Czmora S. N., Własova M. P., 1961. Fotosinteticzeskaja diejatielnost' rastienij v posievach. Izd. AN SSSR, Moskva.

Okanienko A. S., Poczinok N. H. i in. 1971. Intensivnost' i produktivnost' fotosinteza i ispolzovanije sołnecznoj radiacji posievami sielskochozjajstviennych rastienij. [W:] Fotosintez, rost i ustojczivost' rastienij. Izd. Naukova Dumka, Kijev, 28-84.

Pietinov N. S., Brovcyna V. M., 1963. Produktivnost' fotosinteza risa pri razlicznoj gustotie posieva. [W:] Fotosintez i voprosy produktivnosti rastienij. Izd. AN SSSR, Moskva, 105-121.

Repka J., Rimar J., Lorenčik L., 1974. Analýza úrod polných plodina procesu ich tvorby v podmienkach Východoslovenskej Nižiny. III. Sezónne zmeny fotosyntetickej produktivity cukrovej repy. Polnohospodárstwo 20 (2): 93-104.

Ross J., 1966. Rol słonecznoj radiacji v fotosinteticzeskoj diejatielnosti posievov. [W:] Fotosintezirujuszczije sistemy vysokoj produktivnosti. Izd. Nauka, Moskva, 59—69.

Ross J., Własova M. P., 1966. Biometriczeskaja charakteristika i dinamika razvitija posieva kukuruzy. [W:] Fotosintezirujuszczije sistemy vysokoj produktivnosti. Izd. Nauka, Moskva, 78-95.

Starck Z., Ubysz L., 1974. Effect of limited supply of assimilates on the relationships between their sources and acceptors. Acta Soc. Bot. Pol. 43 (3): 427-445.

Strogonova L. E., 1963. O fotosintezie kukuruzy v polevych usłovijach. [W:] Fotosintez i voprosy produktivnosti rastienij. Izd. AN SSSR, Moskva, 71—87.

Švihra J., 1974. Tvorba biomasy v procese fotosyntézy pekinskej kapusty (*Brassica pekinensis* Lour.). Rostlinna vyroba 20, (XLVII): 111-115.

Ulmann L., Natrová Z., Nátr L., 1973. Některé aspekty teorie tvorby výnosu u žita. Uroda 21 (12): 450-451.

Ustienko G. P., 1963. Fotosinteticzeskaja diejatielnost' rastienij v posievach kak osnova formirowanija vysokich urożajev. [W:] Fotosintez i voprosy produktivnosti rastienij. Izd. AN SSSR, Moskva, 37-70.

Ustienko G. P., Jagnova S. P., 1966. Opyt programmirowannogo połuczenija vysokich urożajev kukuruzy po zadannym KPD energii sołnecznoj radiacji. [W:] Fotosintezirujuszczije sistemy vysokoj produktivnosti. Izd. Nauka, Moskva, 178-192.

Verhagen A. M. W., Wilson J. H., Britten E. J., 1963. Plant production in relation to foliage illumination. Ann. Bot. N. S. 27: 626-640.

Watson D. J., 1958. The dependence of net assimilation rate on leaf area index. Ann. Bot., N. S. 22: 37-54.

Watson D. J., Teruhisa Motomatsu, Loach K., Milford G. F. J., 1972. Effects of shading and of seasonal differences in weather on the growth, sugar content and sugar yield of sugar-beet crops. Ann. Apll. Biol. 71: 159-185.

Vinogradov V. N., 1968. Optimalnaja listovaja povierchnost' u odnoletnich bobovych kultur dla połuczenija vysokich urożajev. Fizjoł. Rast. 15 (2): 261-262.