

MAKSYMALNE WYKORZYSTANIE PRODUKCJI ROŚLINNEJ JAKO DROGA INTENSYFIKACJI GOSPODARKI ŻYWNOŚCIOWEJ I OCHRONY ŚRODOWISKA

Stanisław Wróbel

Zakład Ochrony Przyrody i Zasobów Naturalnych

WSTĘP

Rolnictwo jest jednym z najważniejszych kierunków działalności ludzkiej, którego zadaniem jest dostarczanie artykułów pierwszej potrzeby, podtrzymujących egzystencję człowieka. Ilość energii w pokarmie, jaką człowiek musi otrzymać każdego dnia wynosi około 3000 kcal. Jest to mniej więcej tyle, ile wynosi produkcja pierwotna roślin uprawnych na powierzchni 0,6 m² względnie plon tych roślin, zebranych z 1-2 m². Produkcja roczna z 4-8 arów nie jest jednak w stanie zaspokoić potrzeby człowieka w ciągu roku z uwagi na konieczność dużego udziału w jego racji pokarmowej białka pochodzenia zwierzęcego. Następuje zatem duża strata, gdyż zwierzęta lądowe są mało wydajnymi konwertorami energii.

Uwzględniając duże różnice między produkcją pierwotną a plonem oraz straty energii w przemianie produktów roślinnych na produkty zwierzęce przyjmuje się, że na wyżywienie jednej osoby potrzeba 0,40 ha powierzchni użytków rolnych, przy obecnym stopniu intensyfikacji produkcji i sposobie wykorzystania tej produkcji. W Polsce powierzchnia użytków rolnych, przypadająca na 1 mieszkańca zbliża się właśnie do tej wielkości. Trzeba bowiem dodać, że wzrost zaludnienia pociąga za sobą konieczność budowy miast, osiedli, zakładów przemysłowych, szkół, dróg itp. Rozbudowa ta następuje najczęściej na terenach rolniczych. Dla ilustracji można przytoczyć dane z Rocznika Statystycznego (1974), dotyczące lat 1949 i 1973. Otóż w roku 1949 Polska liczyła 24,6 mln mieszkańców (8,9 mln w miastach i 15,7 mln we wsiach) i posiadała 20 440 tys. ha użytków rolnych, w tym gruntów ornych 16 000 tys. ha. W roku 1973 ilość mieszkańców wzrosła o 8,9 mln, a powierzchnia użytków rolnych zmniejszyła się o 1114 tys. ha. Na każdego nowego mieszkańca rolnictwo traciło 1250 m². Było to o 50% więcej aniżeli przyjmuje się w światowych prognozach demograficzno-żywnościowych.

Wzrost liczby ludności, zmniejszanie się powierzchni uprawnej oraz coraz większe zapotrzebowanie na produkty pochodzenia zwierzęcego narzucają konieczność ciągłego zwiększania produkcji roślinnej, jako podstawy gospodarki żywnościowej. W ostatnim dwudziestoleciu nastąpiło więc w wielu krajach, w tym również w Polsce, podwojenie produkcji roślinnej. Ten wzrost produkcji został osiągnięty dzięki wyhodowaniu nowych odmian zbóż oraz szybko zwiększającej się produkcji nawozów mineralnych i ich zastosowaniu do nawożenia gleb. Jest bardzo interesujące, iż te dwie bardzo różne w swej istocie drogi intensyfikacji (biologiczna i chemiczna) przyczyniają się bardziej do zwiększenia plonu, aniżeli zwiększenia produkcji pierwotnej, przypadającej na jednostkę powierzchni uprawnej.

Nowe odmiany zbóż odznaczają się bowiem większym procentem części generatywnych w całej biomase rośliny [37]. Intensywne nawożenie natomiast, sprzyjając rozwojowi uprawianej rośliny, eliminuje rośliny niepożądane (chwasty) i w ten sposób przy nieznacznym nawet wzroście produkcji pierwotnej zwiększa wydanie plon roślin [46].

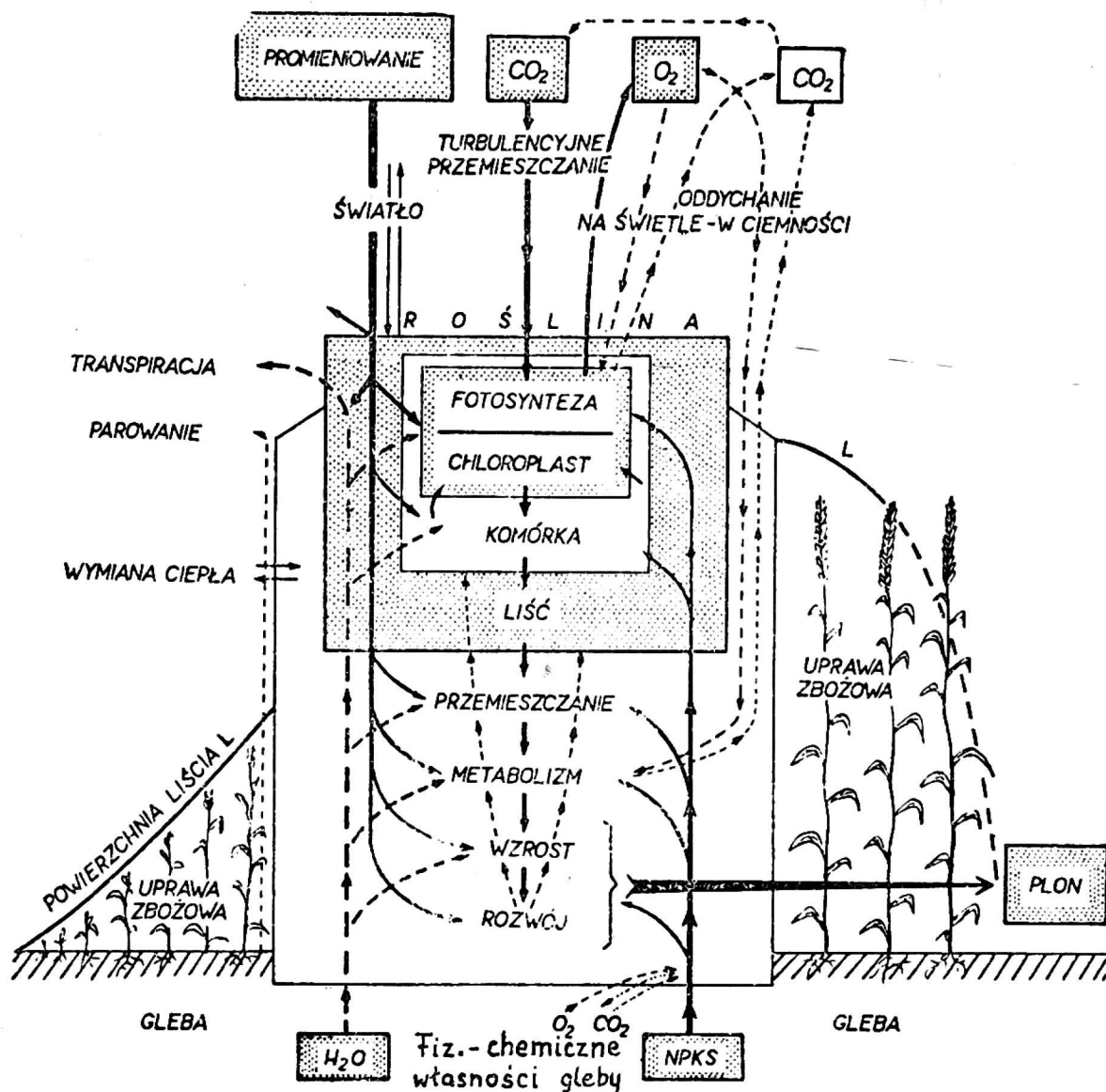
Trzeba jednak z naciskiem podkreślić, że metody biologiczne i chemiczne mają wspólny cel (zwiększenie produkcji roślinnej), ale zdecydowanie różne następstwa w środowisku glebowym i wodnym. Bowiem tylko te drugie stosowane nieumiejętnie lub w nadmiarze powodują niekorzystne zmiany w biocenozach pól uprawnych oraz degradację gleb, przyczyniającą się z kolei do przyspieszenia migracji składników pokarmowych z gruntu do wód.

Bezpośrednie wykorzystanie produkcji pierwotnej roślin uprawnych przez człowieka jest niewielkie i nie przekracza 10%, powyżej 50% tej produkcji zużywa się jako paszę dla zwierząt, pozostała część podlega przeróbce na produkty spożywcze (cukrownictwo, browarnictwo itp.). Przy każdym wydłużeniu drogi od produkcji pierwotnej do końcowego produktu spożywczego powstają duże straty energii bądź w metabolizmie i odchodach, jak to ma miejsce u zwierząt, bądź w dużych ilościach substancji organicznej, odpływającej z wodami odpadowymi przemysłu przetwórczego. Te ogromne straty substancji organicznej, wyprodukowanej przy wielkim nakładzie środków finansowych i energetycznych stanowią nie tylko stratę dla gospodarki żywnościowej, ale są także jedną z najgroźniejszych przyczyn zanieczyszczenia wód powierzchniowych.

EKOFIZJOLOGIA PRODUKCJI ROŚLINNEJ

Produkcja roślinna jest wytwarzana w procesie fotosyntezy i jako taka zależy od trzech przynajmniej grup czynników, a mianowicie: klimatycznych — głównie światła i ciepła, fizjologicznych samych roślin

oraz właściwości gleb, a przede wszystkim od ich zdolności zaopatrywania roślin w wodę i składniki pokarmowe. Współdziałanie tych czynników, którego efektem jest plon, obrazuje dobrze schemat (rys. 1), podany przez Nićporowicza [36].



Rys. 1. Produkcja biomasy roślin zbożowych [10, 36]

Pierwsza grupa czynników zależy przede wszystkim od położenia geograficznego i wysokościowego. Klimat umiarkowany — jak wiadomo — nie sprzyja wysokiej produkcji pierwotnej roślin, gdyż długość sezonu wegetacyjnego waha się w granicach 150-180 dni, w tym okres intensywnej fotosyntezy zależnie od gatunku uprawianej rośliny jest o wiele krótszy i oscyluje od 45-80 dni.

Promieniowanie słoneczne, a właściwie jego część w zakresie długości fal 400-700 nm, zwana promieniowaniem fotosyntetycznie czynnym (PFCz), jest wykorzystywana przez rośliny w niewielkim tylko procencie. U roślin najbardziej wydajnych (kukurydza, trzcina cukrowa) współ-

czynnik wykorzystania PFCz (wydajność fotosyntetyczna) rzadko przekracza 5%, co w przeliczeniu na całkowite promieniowanie słoneczne stanowi prawie 2%. Udział PFCz w tym ostatnim wynosi bowiem około 45%, z wahaniami w granicach 38-58% [10]. Podany powyżej współczynnik wykorzystania światła odnosi się do produkcji pierwotnej, czyli biomasy całej rośliny i pełnego okresu jej rozwoju. Należy dodać, że maksymalny współczynnik wykorzystania promieniowania fotosyntetycznie czynnego w czasie dnia może sięgać 12% [17]. Wyższą od roślin lądowych wydajnością fotosyntetyczną odznaczają się rośliny wodne — glony, u których może ona wynosić 25-30% [56]. U roślin mniej wydajnych współczynnik ten jest niższy, np. u pszenicy przy plonie 40 q/ha ziarna i podobnym zbiorze słomy oraz po uwzględnieniu masy korzeni, w ilości 22% w stosunku do części nadziemnych [28], wynosi on 1,20%.

Właściwości fizjologiczne zdecydowanej większości uprawianych w klimacie umiarkowanym roślin nie pozwalają na większe wykorzystanie światła. Zależność natężenia fotosyntezy od natężenia światła utrzymuje się tylko do punktu wysycenia. Podczas pogodnego dnia natężenie światła kilkakrotnie przekracza punkt wysycenia, ten nadmiar światła nie tylko hamuje fotosyntezę, ale także zmniejsza bardzo wydatnie produkcję „netto” poprzez wzmożenie procesów fotooddychania.

Wszystkie ważniejsze rośliny, z wyjątkiem kukurydzy, uprawiane w naszym klimacie, posiadają trójwęglowy (C_3) typ fotosyntezy. Charakterystycznymi cechami roślin z tym typem fotosyntezy jest stosunkowo wysoki punkt kompensacyjny w odniesieniu do stężenia CO_2 i intensywne fotooddychanie. Spadek produkcji „netto”, której część jest w ostatecznym rozrachunku plonem roślin, wynosi 16% [55]. Spadek ten może sięgać nawet 46%, gdyż tyle wynosi wzrost produkcji, jeżeli zmniejszy się do minimum zawartość tlenu w otaczającej rośliny atmosferze [38]. Podobny efekt, jak przy zmniejszeniu zawartości O_2 , uzyskuje się przez zwiększenie stężenia CO_2 . Hamujący wpływ tlenu na fotosyntezę i nasilenie procesów fotooddychania są spowodowane dużym powinowactwem karboksylazy ribulozowej zarówno do CO_2 , jak i do O_2 . W wyniku jej utlenienia powstaje w cyklu przemian, zamiast kwasu fosfoglicerinowego, kwas glikolowy, który jest substratem w procesie oddychania świetlnego. Ten cykl przemian jest prawdopodobnie dostosowaniem metabolizmu roślin do egzystencji w warunkach naturalnych przy dużym natężeniu światła [32].

Przy czterowęglowym (C_4) typie fotosyntezy cząsteczka CO_2 jest przenoszona i włączana do cyklu Calvina Bensona za pośrednictwem kwasu fosfoenolpirogronowego, którego karboksylaza ma większe powinowactwo do dwutlenku węgla, aniżeli do tlenu, wskutek czego fotooddychanie spada prawie do zera. Ten typ fotosyntezy posiadają z roślin uprawnych,

oprócz kukurydzy, trzcina cukrowa i sorgo. Bardzo istotną cechą roślin z czterowęglowym typem fotosyntezy jest ich oszczędna gospodarka wodą. Współczynnik transpiracji waha się u nich w granicach 250-350 l na 1 kg suchej masy, gdy tymczasem u roślin z trójwęglowym typem oscyluje w granicach 450-950 l [24].

Jak widać w klimacie umiarkowanym właściwości fizjologiczne roślin stanowią barierę na drodze ciągłego wzrostu produkcji roślinnej, jakkolwiek są obecnie teoretyczne podstawy do przypuszczeń, iż w przyszłości uda się na drodze genetycznej bądź fizjologicznej zmienić typ fotosyntezy u uprawianych roślin, względnie poważnie ograniczyć fotooddychanie. Niektóre rośliny o różnym typie wiązania CO₂ są bowiem do siebie podobne (np. *Atriplex rosea* — C₄ i *Atriplex patula* — C₃) i dają się krzyżować [4]. Ogren [38] twierdzi jednak, że nie jest to możliwe, gdyż inna jest budowa anatomiczna liścia i różne są komplety enzymów u roślin o odrębnych typach fotosyntezy.

Jednym z ważniejszych zadań w klimacie umiarkowanym jest zwiększenie wykorzystania promieniowania słonecznego, padającego na jednostkę powierzchni. Można to uczynić przez wydłużenie okresu intensywnej fotosyntezy drogą odpowiedniego zmianowania roślin (plony, przedplony, poplony, użytki zielone oraz najszersze wprowadzanie roślin z czterowęglowym typem fotosyntezy). Na niewielką skalę (w szklarniach i tunelach foliowych) możliwe jest również podniesienie produkcji roślin przez zwiększenie stężenia dwutlenku węgla i ograniczenie fotooddychania.

Zwiększenie wydajności fotosyntetycznej roślin uprawnych może być także osiągnięte przez optymalne zaopatrzenie roślin w wodę i składniki pokarmowe. Niedostatek tej pierwszej, to jest spadek wilgotności gleby poniżej punktu wędnięcia, powoduje zamykanie szparek liści i ograniczenie wymiany gazowej, a tym samym zahamowanie fotosyntezy.

Polowe zużycie wody, na które składa się parowanie z wolnej powierzchni gleby i transpiracja roślin, kształtuje się w granicach 200-350 mm w uprawach zbóż i 350-600 mm w uprawach roślin okopowych i pastewnych [13, 14, 54]. Jakkolwiek większe jest zużycie wody przy wyższej jej zawartości w glebie (np. przy nawadnianiu upraw), to jednak przy dobrym zaopatrzeniu roślin w składniki pokarmowe zużycie to, przeliczone na jednostkę masy roślin wydatnie spada. Nawadnianie roślin, powoduje lepsze wykorzystanie składników pokarmowych, dostarczanych w nawozach, przyczynia się do zwiększenia plonów [12, 14] i spadku jednostkowego zużycia wody [49]. Istnieje zatem dodatnie współdziałanie nawodnienia i nawożenia mineralnego w uprawach polowych [14, 15] i użytkach zielonych [43].

Tak więc z trzech grup czynników, wymienionych na początku tego rozdziału, warunkujących wysokość produkcji roślinnej, jedynie trzecia z nich (woda i składniki pokarmowe) może być dowolnie regulowana.

KONSEKWENCJE EKOLOGICZNE INTENSYFIKACJI PRODUKCJI ROŚLINNEJ

Podstawowymi czynnikami współczesnego modelu produkcyjnego w rolnictwie są woda i nawozy mineralne. Oba te czynniki mają decydujące znaczenie w produkcji rolniczej w Polsce, ponieważ zarówno ilość opadów atmosferycznych i ich rozkład w ciągu roku, jak i niska naturalna żyzność gleb nie sprzyjają wysokiej produkcji roślinnej. W wielu regionach centralnych i północnych naszego kraju zwiększenie efektywności nawożenia mineralnego może nastąpić tylko przy równoczesnym dostarczeniu wody. Polowe zużycie wody przy wysokich plonach okopowych i pastewnych — jak wspomniano w poprzednim rozdziale — jest większe, aniżeli średnia roczna ilość opadów. Nieodzowne staje się nawadnianie upraw polowych i użytków zielonych. Zużycie wody do tego celu, zwiększając straty bezzwrotne, powoduje zmniejszenie przepływów w rzekach. Należy przy tym dodać, że największe zapotrzebowanie na wodę w rolnictwie zbiega się często z najniższymi stanami wody w rzekach. Słusznie przeto pisał profesor Bac [2], że hydrolodzy często nazywają rolnictwo „molochem wodnym”.

Dla zabezpieczenia potrzeb rolnictwa do roku 1990 przewidziano 9 mld m³ wody, co będzie stanowić 15-25% całkowitych zasobów wodnych Polski. Coraz większe zużycie wody do celów irygacyjnych stanowi uszczuplenie zasobów wodnych nie tylko wskutek zmniejszenia ilości, ale także pogorszenia jakości wody w wyniku wzrostu koncentracji różnych związków pochodzenia ściekowego.

Do niedawna rolnictwo, słabo intensyfikowane nawożeniem mineralnym, było odpowiedzialne, z racji zajmowania około 65% powierzchni naszego kraju, za ilość spływających wód. Retencja wody i szybkość jej spływu zależy bowiem w dużej mierze od użytkowania i uprawy gleb zlewni. W miarę wzrostu zużycia nawozów mineralnych i środków chemicznych ochrony roślin rolnictwo staje się odpowiedzialne również za jakość odpływających wód. Coraz większe ilości ługowanych i erodowanych związków nawozowych dostaje się do wód powierzchniowych, przyczyniając się do lawinowego przyspieszenia eutrofizacji, a tym samym do ich degradacji.

Ługowaniu ulegają przede wszystkim związki wapnia i magnezu oraz azotany. Te pierwsze są wymywane w formie kwaśnych węglanów, które dostając się do wód powierzchniowych stanowią główne źródło dwu-

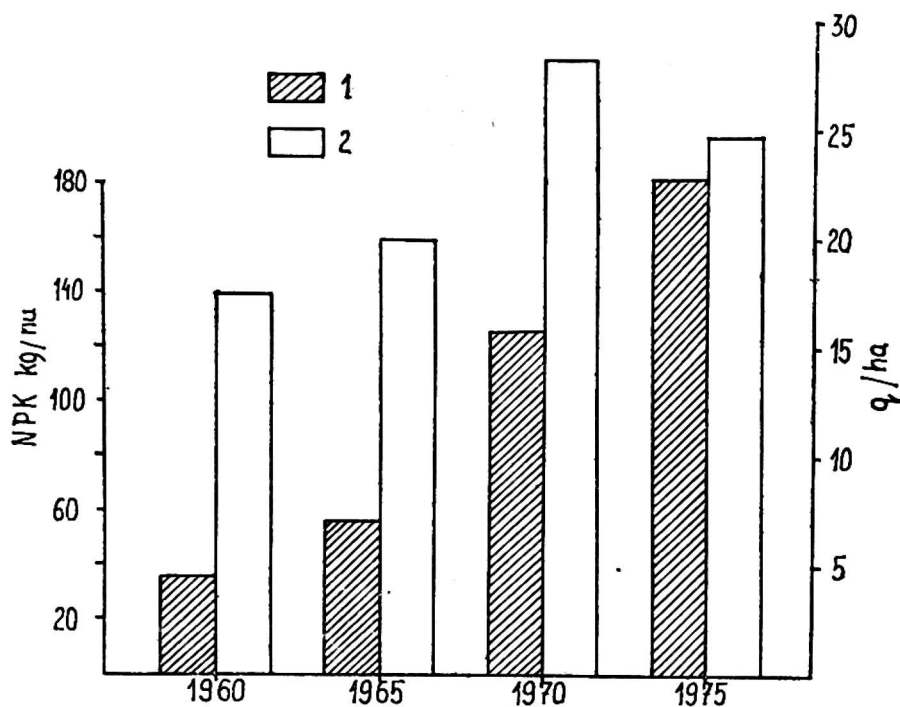
tlenku węgla dla zbiorowisk roślin wodnych. Straty wapnia z 1 ha wahają się od kilkunastu do kilkuset kg w ciągu roku [1, 53] i zależą przede wszystkim od ilości CO_2 w wodzie glebowej oraz od ilości wody infiltrującej i odpływającej z danego pola czy danej zlewni. Straty te w skali całej Polski są duże, gdyż obliczone dla roku 1972 na podstawie ilości wapnia, dostających się z wodami wszystkich naszych rzek do Bałtyku [11], wynosiły w przeliczeniu na CaO 4 600 tys. ton. Tymczasem do wapnowania użyto w tym samym roku 2 300 tys. ton, a więc dwukrotnie mniej. Intensyfikacja produkcji roślinnej pociąga za sobą większe wydzielanie CO_2 w glebie i spotęgowanie wymywania wapnia, co z kolei prowadzi do zakwaszenia gleb i ich degradacji. Następstwem tejże jest przede wszystkim zmniejszenie efektywności nawożenia mineralnego i nasilenie wymywania innych związków pokarmowych.

Do najbardziej ruchliwych należą azotany i straty azotu w glebach zachodzą głównie w ich postaci. Straty te w ciągu roku kształtują się w szerokich granicach, a mianowicie od kilku czy kilkunastu kg/ha [3] do 118 kg N/ha [31]. Wysokości tych strat, przy współcześnie stosowanych ilościach nawozów mineralnych (60-80 kg N/ha) zależą bardziej od pokrywy roślinnej i ilości wody infiltrującej [33, 42], aniżeli od nawożenia mineralnego. Russell [44] i Jung [23] twierdzą, że w latach siedemdziesiątych udział nawozów azotowych w dopływie związków tego pierwiastka do wód powierzchniowych nie przekraczało 5%. Niemniej w miarę wzrostu zużycia nawozów azotowych będą ulegać zwiększeniu straty, tym bardziej że aktualne tendencje rozwoju produkcji zwierzęcej i stosowane obecnie płodozmiany nie sprzyjają zwiększeniu nawożenia organicznego i wzrostowi zawartości próchnicy w glebach. Dotyczy to przede wszystkim gleb lekkich, które zajmują w Polsce ponad 50% ogólnej powierzchni uprawnej.

Inne składniki pokarmowe — związki fosforu, potasu, jak również amonowa forma azotu — są wynoszone z gleb w wyniku erozji wodnej. Straty składników pokarmowych na tej drodze są obecnie większe, aniżeli na drodze ługowania gleb [27]. Świadczą o tym ładunki składników pokarmowych podczas wysokich stanów wody w rzekach, przepływających przez tereny silnie erodowane [7, 6, 25, 40]. Negatywne, pośrednie skutki erozji objawiają się poprzez zubożenie kompleksu sorpcyjnego na wierzchowinach i stokach, a tym samym zmniejszenie retencji składników pokarmowych przy wzrastających dawkach nawozów mineralnych. W nowoczesnym rolnictwie będzie się zmniejszała rola erozji w transporcie składników pokarmowych, musi bowiem ulec zmianie użytkowanie gleb na stokach o nachyleniu większym od 10%, polegającej na zamianie gruntów ornych na trwałe użytki zielone.

W ostatnich 15 latach wzrosło wydatnie zużycie nawozów mineral-

nych w Polsce. W roku 1960 wynosiło ono 745 tys. ton NPK, a w roku 1975 osiągnęło poziom 3460 tys. ton. Mimo zwiększenia ilości nawozów w tym ostatnim roku nastąpił spadek produkcji zbóż (rys. 2). Tak więc



Rys. 2. Nawożenie mineralne i plony zbóż w Polsce — wg Roczn. Statyst. 1976: 1 — nawożenie mineralne, 2 — plony zbóż

już przy 182 kg/ha NPK konieczne jest poprawienie stosunków wodnych gleb. W planach rozwojowych przewiduje się dalszą intensyfikację nawożenia do 290 kg/ha NPK w roku 1990 [29] i do 340 kg w roku 2000 [8], co ma być jedynie uzupełnieniem składników pokarmowych, pobranych z plonami [51]. Aby sprostać zapotrzebowaniu na nawozy mineralne w roku 2000, produkcja ich musi być przynajmniej podwojona. Rozbudowa przemysłu nawozowego jest dużym zagrożeniem dla czystości wód powierzchniowych, gdyż wody odpadowe tego przemysłu posiadają wysokie koncentracje składników pokarmowych. Dotyczy to przede wszystkim zakładów azotowych, w których mimo usilnych poszukiwań metod eliminacji związków azotowych ze ścieków, nie udało się dotychczas wprowadzić zadowalających rozwiązań w tym zakresie. Korzystniejsza sytuacja jest przy eliminacji fosforanów z wód odpadowych przemysłu fosforowego, ponieważ tworzą one nierozpuszczalne związki z wapniem lub żelazem i dają się łatwo z wód tych usuwać. Niemniej zbywająca ilość fosforanów może lokalnie przyczyniać się do silnego zeutrofizowania wód.

Produkcja nawozów mineralnych i ich użycie w celu podniesienia produkcji roślinnej przyczyniają się do przyspieszenia i zwiększenia migracji podstawowych składników pokarmowych z lądu do wód. Przyj-

muje się obecnie, że związki azotowe oraz związki wapnia i magnezu dostają się do wód powierzchniowych bezpośrednio z nawożonych pól, fosforany natomiast odbywają dłuższą wędrówkę poprzez populację ludzką i w postaci ścieków bytowych dopływają do wód. Ilość ich jest przy tym zwiększona przez związki fosforu zawarte w detergentach. Nasileniu migracji sprzyja ponadto wprowadzanie coraz szerzej daleko posuniętej specjalizacji, przejawiającej się głównie w uproszczeniu płodozmianów (zmęczenie gleby, eksploatacja tych samych poziomów profilu glebowego) oraz w oderwaniu produkcji zwierzęcej od produkcji roślinnej (rozwój wielkich ferm tuczu przemysłowego zwierząt).

Następstwem wzbogacenia wód powierzchniowych w składniki pokarmowe jest występowanie masowego rozwoju glonów nie tylko w wodach stojących — jeziorach i zbiornikach zaporowych — ale także w rzekach, czego przykładem są „zakwity wody” w Wiśle, podczas których liczebność sięga kilkuset mln komórek w 1 litrze. Konsekwencją tego jest wtórne zanieczyszczenie wód i całkowita ich dyskwalifikacja. Najbardziej efektywne aktualnie metody podniesienia produkcji roślinnej wywierają przeto bardzo niekorzystny wpływ na środowisko przyrodnicze człowieka.

WSPÓŁCZESNE I PRZYSZŁOŚCIOWE WYKORZYSTANIE PRODUKCJI PIERWOTNEJ ROŚLIN UPRAWNYCH

Współcześni futurologi ukazują pomyślne perspektywy produkcji żywności, gdyż w skali całego naszego globu powierzchnia ziemi uprawnej może być podwojona. Ogromne rezerwy tkwią także we wzroście plonów, w tych rejonach świata, gdzie sezon wegetacyjny trwa przez cały rok. W klimacie umiarkowanym państwa gęsto zaludnione nie mogą wiązać swej polityki żywnościowej z tymi optymistycznymi wizjami. Ćwierćwiecze jest okresem dostatecznie długim, aby narosły trudności w gospodarce żywnościowej, ale zbyt krótkim, aby nastąpiły zmiany w psychice ludzkiej, pozwalające na wspólne działanie w celu zachowania i rozwoju gatunku ludzkiego. W tej sytuacji każde państwo musi znaleźć własną drogę, aby zaspokoić potrzeby żywnościowe swoich obywateli.

Polska należy do tych krajów, w których nie tylko że nie ma rezerw ziemi, ale nawet obecna powierzchnia użytków rolnych zmniejszy się około 3 mln ha (z 19,2 mln do 16 mln ha). Najuboższe gleby, należące do klas VI i V, muszą być zalesione, gdyż nie opłaca się ich uprawa i intensyfikacja produkcji. W roku 2000 Polska będzie liczyła nie mniej niż 40 mln mieszkańców i będzie posiadała nie więcej niż 16 mln ha użytków rolnych. Czy w naszych warunkach klimatycznych, przy ograniczo-

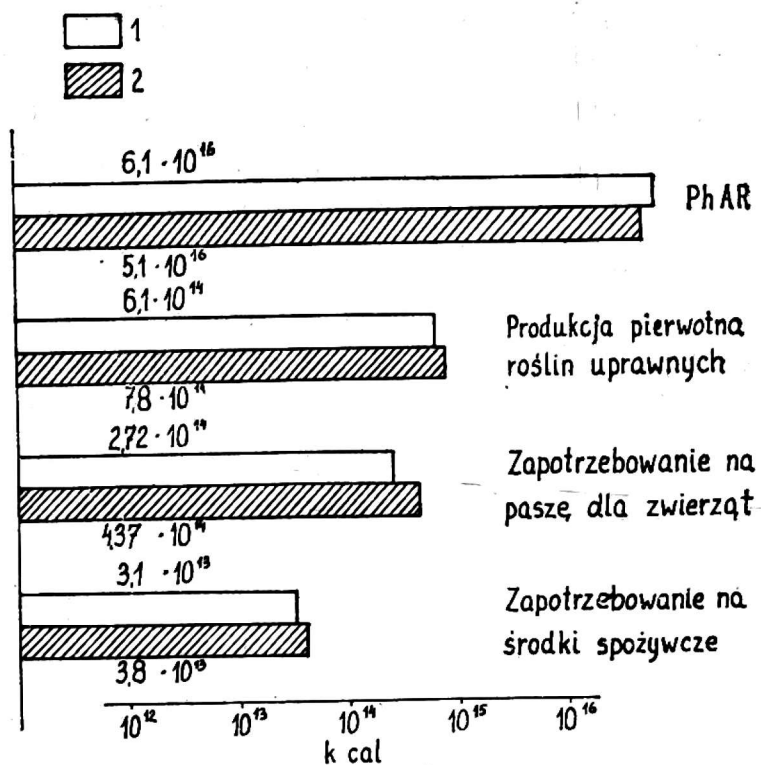
nym areale ziemi i katastrofalnie małych zasobach wodnych jest możliwa samowystarczalna gospodarka żywnościowa?

Są dwie drogi intensyfikacji produkcji środków żywnościowych, zakładając, iż podstawą tej produkcji będą rośliny wyższe. Pierwsza z nich to maksymalne zwiększanie produkcji roślinnej z jednostki powierzchni przez dostarczenie coraz większych ilości wody i nawozów mineralnych. Wprowadzenie irygacji upraw oraz zwiększenie produkcji i zużycia nawozów mineralnych nie jest dla Polski korzystne, z uwagi na szczupłość zasobów wodnych i ich decydującą rolę w rozwoju innych działów gospodarki kraju. Duże deficyty wody w wielu rejonach Polski już obecnie zmuszają do skrupulatnego gospodarowania wodą. Aby rozwijać ten kierunek intensyfikacji gospodarki żywnościowej, muszą być podjęte radykalne środki w celu ograniczenia negatywnych następstw zmniejszenia przepływów w rzekach i ługowania gleb oraz polepszenia czystości wszystkich wód powierzchniowych. Maksymalizacja produkcji roślinnej nie jest więc najlepszym rozwiązaniem.

Drugim kierunkiem rozwijania produkcji środków żywnościowych jest umiejętne zwiększanie produkcji roślinnej drogą zabiegów hodowlanych i optymalnego następstwa roślin, z uprawą przed- i poplonów (maksymalnie długi okres pokrycia gleby roślinami) oraz drogą umiarkowanego nawożenia i częściowego tylko nawadniania upraw. Przy tym kierunku — umiarkowanej intensyfikacji produkcji roślinnej — głównym dążeniem powinno stać się maksymalne wykorzystanie już raz wyprodukowanej substancji organicznej, gdyż jest ono obecnie wysoce niedostateczne. Naczelną dewizą powinna być także maksymalna utylizacja już zsyntetyzowanych (wykorzystanie związków pokarmowych ścieków przemysłu nawozowego) czy zmineralizowanych związków (wykorzystanie zmineralizowanych ścieków).

Dotychczasowy system rolnictwa, mimo różnych modyfikacji, jest oparty na zbiorze ziarna roślin zbożowych, korzeni roślin okopowych oraz całych prawie części nadziemnych roślin pastewnych i traw. Tylko plon tych ostatnich jest najbardziej zbliżony do masy całej rośliny, gdyż plon pierwszych i drugich waha się w granicach 42-65% [45]. Ponad 50% produkcji roślinnej zostaje przeznaczone na karmę dla zwierząt gospodarskich.

Interesująco przedstawia się zapotrzebowanie na paszę dla zwierząt i środki spożywcze w jednostkach energetycznych w odniesieniu do produkcji pierwotnej roślin uprawnych. Przy obliczaniu promieniowania fotosyntetycznie czynnego, padającego na powierzchnię użytków rolnych w Polsce, przyjęto za Czarnowskim [10] $3,2 \times 10^9$ kcal/ha, a produkcję pierwotną roślin uprawnych równą 1% PFCz. Zapotrzebowanie na paszę dla zwierząt, obliczone na podstawie danych zawartych w *International*



Rys. 3. Promieniowanie fotosyntetycznie czynne (PFCz — PhAR); produkcja pierwotna roślin uprawnych oraz zapotrzebowanie na paszę i produkty spożywcze: 1 — w roku 1975, 2 — w roku 2000

Encyclopaedia of Food and Nutrition [5, 9, 20, 39, 52], wynosiło w roku 1975 około 44% produkcji pierwotnej (rys. 3). Aby pokryć zapotrzebowanie na paszę w roku 2000, przy 60% wzroście pogłowia zwierząt, założono zwiększenie produkcji pierwotnej roślin uprawnych o 50% w stosunku do roku 1975 (tj. do 1,5% PFCz.). Przy powyższym wzroście produkcji roślinnej zapotrzebowanie na paszę w roku 2000 wyniosłoby zatem 56% tej produkcji. Już ta prognoza, dokonana w bardzo grubych zarysach, wskazuje, że musi ulec zwiększeniu wykorzystanie produkcji roślinnej, tym bardziej że w roku odniesienia (1975) krajowa produkcja nie pokrywała w całości zapotrzebowania na paszę.

Ponad 35% tego zapotrzebowania stanowią odchody zwierząt, będące metabolitami i niestrawionymi związkami organicznymi. W tradycyjnym rolnictwie odchody zwierząt, zmieszane ze słomą i po przefermentowaniu, były i są używane jako nawóz organiczny. Od początku 19 wieku podkreśla się znaczenie obornika przede wszystkim ze względu na zwiększenie zawartości próchnicy i polepszenie własności fizykochemicznych gleb. Czy jednak w dobie nasilającego się, negatywnego wpływu intensyfikacji produkcji roślinnej na środowisko uzasadnione jest stosowanie obornika, aby w krótkim czasie ulegał on w glebie mineralizacji? Wieloletnie doświadczenia Górskiego i Kuszelewskiego [19] nad wpływem corocznego nawożenia obornikiem dowodzą, że nawożenie to przyczynia się do zwiększenia zawartości próchnicy w glebie tylko do pewnej granicy,

uwarunkowanej w dużej mierze rodzajem gleby i stosunkami wodnymi. Podobny efekt udałoby się prawdopodobnie uzyskać przez odpowiednie zmianowanie roślin, natomiast substancję organiczną odchodów zwierząt należałoby wykorzystać w inny sposób, np. do produkcji białka.

Obecne tendencje rozwojowe produkcji zwierzęcej w wielkich fermach nie sprzyjają zwiększeniu nawożenia organicznego. Duże ilości płynnego nawozu (gnojowicy) z tych obiektów trudno jest racjonalnie zagospodarować i najczęściej dostają się one do wód powierzchniowych. Chcąc przeciwdziałać zanieczyszczeniu wód, usiłuje się wprowadzać oczyszczanie gnojowicy metodami przyjętymi w technologii oczyszczania ścieków komunalnych i ścieków przemysłu rolnego. Nawet wysoki stopień redukcji związków organicznych przy zastosowaniu powyższych metod nie zabezpiecza wód powierzchniowych przed zanieczyszczeniem, gdyż nie usuwa się równocześnie mineralnych związków pokarmowych. Ten kierunek unieszkodliwiania odchodów zwierząt jest wielkim marnotrawstwem substancji organicznej.

Duże ilości związków organicznych, zawartych w ściekach komunalnych i w wodach odpadowych przemysłu spożywczego, ulega biodegradacji w oczyszczalniach bądź w naturalnych odbiornikach (samooczyszczanie się wód). Przewodnią ideą w technologii oczyszczania ścieków organicznych jest znalezienie takich mikroorganizmów, które odznaczałyby się jak najmniejszą wydajnością ekologiczną. Wprowadzenie tych organizmów i wspomaganie ich rozwoju wydajnymi urządzeniami natleniającymi ma na celu pozbycie się w jak najkrótszym czasie substancji organicznej, której produkcja w innym miejscu jest coraz droższa i coraz bardziej uciążliwa.

Zastosowanie nawet najnowszych osiągnięć z zakresu nawożenia gleb oraz genetyki roślin uprawnych i zwierząt gospodarskich, jak również z zakresu technologii oczyszczania ścieków, w ich klasycznych postaciach nie jest w stanie pokryć zapotrzebowania na środki spożywcze, ani sprostać wymogom ochrony wód przed zanieczyszczeniem.

Przyszłość gospodarki żywnościowej i ochrony środowiska powinna opierać się na kombinacji klasycznych metod rolniczych z niekonwencjonalnymi sposobami wytwarzania podstawowych składników pokarmowych, w tym głównie białka. Wielką rolę może tu odegrać inżynieria enzymatyczna, pozwalająca zużytkować mało dotychczas wykorzystywane substraty, np. słomę, liście i substancję organiczną pochodzenia ściekowego.

Niekonwencjonalne metody produkcji białka to przede wszystkim wytwarzanie tego składnika przez grzyby i bakterie, odznaczające się olbrzymimi zdolnościami produkowania biomasy. Wytwarzanie białka np. przez drożdże jest 2500 razy szybsze, aniżeli przez najbardziej wydaj-

ne zwierzęta gospodarskie [30]. Szczególne nadzieje wiąże się z produkcją drożdży z rodzajów *Candida* i *Rhodotorula*, które odznaczają się wielką efektywnością transformacji substancji organicznej, np. przy zastosowaniu 1 kg oleju parafinowego jako substratu można otrzymać 1 kg biomasy o zawartości 50% białka. Ponadto wymienione organizmy mogą korzystać z różnorodnych związków organicznych, od prostych cukrów do kwasów organicznych i węglowodorów [21]. Wielka plastyczność ich wymagań pokarmowych pozwala zastosować je do eliminacji substancji organicznej ze ścieków przemysłu rolnego i papierniczego. Należy dodać, że produkcję białka na ściekach mleczarskich i posulfitowych rozpoczęto już w Polsce.

Duże możliwości produkowania biomasy, bogatej w białko posiadają również glony [56, 57]. Mogą one być zastosowane do eliminacji mineralnych składników pokarmowych z oczyszczonych, na drodze biologicznej, ścieków komunalnych i wód odpadowych przemysłu nawozowego [34]. Trudności w oddzielaniu komórek glonów od fazy ciekłej oraz niski procent wykorzystania glonów przez zwierzęta lądowe [16] skłoniły do wyzyskania ich w produkcji bezkręgowych zwierząt wodnych. W rejonach nadmorskich doskonale efekty daje produkcja ostryg [22, 47, 48]. W rejonach śródlądowych organizmy te mogą być zastąpione przez inne filtratory np. przez wrotki czy skorupiaki, które z kolei mogą służyć jako pokarm dla ryb, bądź jako domieszka do pasz dla zwierząt lądowych. Skorupiaki planktonowe mogą być poza tym produkowane w cyklu skróconym, a więc bez mineralizacji substancji organicznej i rozwoju glonów, gdyż preferowanym ich pokarmem są bakterie. Opracowanie odpowiedniej techniki „hodowli” tych zwierząt mogłoby oddać nieocenione usługi w wykorzystaniu i unieszkodliwianiu gnojowicy z wielkich ferm tuczu zwierząt oraz nadmiaru osadu czynnego z oczyszczalni biologicznych.

Wymienione sposoby zwiększenia wykorzystania produkcji roślinnej łączą gospodarkę żywnościową z ochroną środowiska. Niedobór produktów żywnościowych i kryzys ochrony środowiska w wielu krajach są spowodowane nie brakiem substancji organicznej, ale jej nieracjonalnym wykorzystaniem i nierównomiernym rozmieszczeniem, a tym samym jej lokalnym nadmiarem. Można z dużym prawdopodobieństwem przypuszczać, że w przyszłości jedynie bioinżynieria będzie w stanie zapewnić rozwój gospodarki żywnościowej bez drastycznej deteriorezacji środowiska przyrodniczego.

LITERATURA

1. Amberger A.: Möglichkeiten und Probleme der modernen Düngungsweise der Landwirtschaft und ihre Auswirkungen auf Wasser und Abwasserwirtschaft. Münchner Beiträge zur Abwasser-, Fischerei- und Flussbiologie, Vol. 16, 1969.
2. Bac S.: Rola lasu w bilansie wodnym Polski. Fol. for. pol., ser. A, nr 14, 1968.
3. Bernhardt H., Such W., Wilhelms A.: Untersuchungen über die Nährstofffrachten aus vorwiegend landwirtschaftlich genutzten Einzugsgebieten mit ländlicher Besiedlung. Münchner Beiträge zur Abwasser-, Fischerei- und Flussbiologie, Vol. 16, 1969.
4. Björkman O., Berry J.: High efficiency photosynthesis. Scientific American, No. 10, 1973.
5. Bolton W.: Digestion, absorption and metabolism in poultry. International Encyclopaedia of Food and Nutrition. Vol. 17, 1969.
6. Bombówna M.: Hydrochemiczna charakterystyka rzeki Raby i jej dopływów. Acta hydrob., vol. 11, z. 4, 1969.
7. Bombówna M., Wróbel S.: Badania chemiczne Wisły od ujścia Przemszy do Krakowa. Acta hydrob., vol. 8, suppl., 1966.
8. Boratyński K.: Nawozy mineralne a produkcja rolnicza w Polsce. Mater. Konf. Nawożenie a eutrofizacja wód. Zielona Góra 1976.
9. Cuthbertson D.: The nutrient requirements of farm livestock. International Encyclopaedia of Food and Nutrition. Vol. 17, 1969.
10. Czarnowski M.: Ekofizjologiczne studia nad szacunkową metodą oceny produkcji fotosyntetycznej liści wybranych gatunków roślin. Zakł. Fizjol. Roślin PAN, Kraków 1973.
11. Dubrawski R., Andruliewicz E.: Spływ jonowy z obszaru Polski w aspekcie zanieczyszczenia Bałtyku. Opracowania MIR, t. 5, 1972.
12. Dzieżyc J.: Zmiany przyrostu masy roślin i zapasów wody w ziemniakach i burakach pod wpływem nawadniania i różnych dawek N, P i K. Zesz. prob. Post. Nauk rol., z. 140, 1973.
13. Dzieżyc J.: Polowe zużycie wody przez rośliny uprawne na glebach lekkich i w różnych warunkach wodnych i nawozowych. Zesz. prob. Post. Nauk rol., z. 140, 1973.
14. Dzieżyc J.: Optymalny poziom nawożenia w warunkach nawadniania gleb lekkich. Zesz. prob. Post. Nauk rol., z. 181, 1976.
15. Dzieżyc J., Trybała M.: Zmiany wilgotności gleby i roślin oraz zużycie wody w łanie buraków i zbóż pod wpływem nawadniania i nawożenia. Zesz. prob. Post. Nauk rol., z. 110, 1970.
16. Gacek K.: Wpływ dodatku glonów na strawność składników pokarmowych w mieszankach dla królików. Acta agr. silv. Ser. zoot., vol. 16, z. 1, 1976.
17. Gates D.: The flow of energy in the biosphere. Scientific American, No. 9, 1971.
18. Goldman J. C., Tenore K. R., Ryther J. H., Corwin N.: Inorganic nitrogen removal in a combined tertiary treatment marine aquaculture system. I. Removal efficiencies. Water Res., Vol. 8, No. 1, 1974.
19. Górski M., Kuszelewski L.: Wpływ nawożenia organicznego i mineralnego na zawartość substancji organicznej i skład próchnicy glebowej w świetle 38-letnich doświadczeń w Skierniewicach. Rocz. glebozn., vol. 13, z. 2, 1963.
20. Greenhalgh J. F. D.: Nutrition of the dairy cow. International Encyclopaedia of Food and Nutrition. Vol. 17, 1969.

21. Hospodka J.: Industrial application of continuous fermentation. Theoretical and methodological basis of continuous culture of microorganisms. Ed. by Malek, Fencel, Prague, 1966.
22. Huguenin J. E.: Development of marine aquaculture research complex. Aquaculture, Vol. 5, No. 2, 1975.
23. Jung J.: Factors determining the leaching of nitrogen from soil including some aspects of maintenance of water quality. Soil Bull., Vol. 16, 1972.
24. Kaniuga Z.: Regulacja włączania CO₂ w procesie fotosyntezy. Post. Biochem. vol. 22, 1976.
25. Kasza H.: Dopyływ azotu i fosforu do zbiornika w Goczałkowicach w latach 1973-1975. Acta hydrob., vol. 19, 1977.
26. Kaszubski H., Kukielska C., Kaczmarek W.: An attempt to estimate the productivity of microorganisms in soil in comparison to primary production. Pol. Ecol. Stud., Vol. 2, No. 1, 1976.
27. Klingebiel A. A.: Soil and water management to control plant nutrients in natural waters. Soil Bull., Vol. 16, 1972.
28. Lieth H.: The determination of plant dry matter production with special emphasis on the underground parts. Functioning of terrestrial ecosystems at the primary production level. Proceeding of the Copenhagen Symp. UNESCO, 1968.
29. Lityński T.: Biologiczne skutki chemizacji rolnictwa. AR Kraków 1973.
30. Lorkiewicz Z.: Produkcja biomasy przy zastosowaniu procesów mikrobiologicznych na różnych substratach. Kosmos, z. 4, 1975.
31. Low A. J., Armitage E. R.: The composition of the leachate through cropped and uncropped soils in lysimeters compared with that of the rain. Plant and Soil, Vol. 33, 1970.
32. Maleszewski S.: Tlen jako element regulacji fotosyntezy. Post. Biochem. vol. 20, 1974.
33. Margowski Z., Bartoszewicz A.: Influence of agricultural use on the chemical composition of ground water. Pol. Ecol. Stud., Vol. 2, No. 1, 1976.
34. Matusiak K., Dusoge J., Kocieszczenko J., Bieszkiewicz E.: Studies on the purification of wastewater from the nitrogen fertilizer industry by intensive algal cultures. III. Growth and utilization of nitrogen by *Chlorella vulgaris* in waste from the production of ammonium nitrate. Acta Microb. Polon., Vol. 25, z. 8, 1976.
35. Ničiporovič A. A.: Evaluation of productivity by study of photosynthesis as a function of illumination. Proceedings of the Copenhagen Symp. UNESCO, 1968.
36. Ničiporovič A. A.: On characteristic of the photosynthetic apparatus derived its response to natural complexes of environmental factors. Proceedings of the IBP/PP Technical Meeting, 14-21 Sept. 1969. Wageningen 1970.
37. Nowacki E.: Fizjologia i biochemia wysokich plonów. Post. Nauk rol., z. 3, 1976.
38. Ogren W. L.: Control of photorespiration in soybean and maize. Proceedings of a conference held at the Limburgs Universitair Centrum, Diepenbeek, Belgium, 1974, W Junk Publ. The Hague, 1975.
39. Olsson N. O.: The nutrition of the horse. International Encyclopaedia of Food and Nutrition. Vol. 17, 1969.
40. Płużański A.: Wpływ zagospodarowania zlewni na czystość wód Zbiornika Sołińskiego. Praca doktorska, 1976.

41. Poskuta J.: Photorespiration as factor in photosynthesis the effect of light, oxygen and growth regulators. Pol. Ecol. Stud., Vol. 1, No. 1, 1975.
42. Reeves M. J.: A procedure for the prediction of nitrate levels in water supplies in the United Kindom. Conference on nitrogen as a water pollutant, Proceedings JAWPR, Copenhagen 1975.
43. Rojek S.: Badania nad deszczowaniem roślin pastewnych i łąkowych przy różnych poziomach nawożenia. Zesz. probl. Post. Nauk rol., z. 140, 1973.
44. Russell E. W.: Summary of technical discussions. Soil Bull., Vol. 16, 1972.
45. Ryszkowski L.: Krążenie materii w agrocenozach. Zesz. prob. Post. Nauk rol., z. 155, 1974.
46. Ryszkowski L.: Energy and matter economy of ecosystems. Unifying concepts in ecology, Junk Publ. Hague, 1975.
47. Ryther J. H., Dunstan W. M., Tenore K. R., Huguenin J. E.: Controlled eutrophication increasing food production from the sea by recycling human wastes. Bioscience, No. 22, 1972.
48. Ryther J. H. et al. Physical model of integrated waste recycling — Marine polyculture systems. Aquaculture, Vol. 5, No. 2, 1975.
49. Sarnacka S.: Całkowite i jednostkowe, polowe zużycie wody w warunkach zróżnicowanego nawożenia. Prace IM i GW, nr 7, 1975.
50. Siuta J.: Ekologia a rolnictwo (wybrane zagadnienia). Wiad. ekol., vol. 17, nr 1, 1971.
51. Siuta J.: Kształtowanie przyrodniczych warunków rolnictwa w Polsce. PWN, 1974.
52. Slan S. B.: Nutrition in relation to wool production and body growth in sheep. International Encyclopaedia of Food and Nutrition, Vol. 17, 1969.
53. Stoklasa J.: Biochemischer Kreislauf des Phosphat-Ions im Boden, Jena 1911.
54. Trybała M.: Zależność między zużyciem wodnym roślin a wysokością plonów w świetle doświadczeń z lat 1962-1974. Zesz. prob. Post. Nauk rol., z. 181, 1976.
55. Zelitch I.: Photosynthesis, photorespiration and Plant Productivity. Acad Press, New York and London 1971.
56. Zurzycki J.: Fotosynteza a problemy wyżywienia. Wiedza Powszechna, Warszawa 1963.
57. Zurzycki J.: Glony z kultur masowych jako potencjalne źródło białka. Kosmos, z. 5, 1975.

Станислав Врубель

МАКСИМАЛЬНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РАСТИТЕЛЬНОЙ ПРОДУКЦИИ КАК СПОСОБ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ПРОДУКЦИИ ПИЩИ И ОХРАНЫ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ

Резюме

В настоящем труде рассматриваются основные трудности препятствующие гармоническому развитию сельского хозяйства и охране среды. Они связаны с климатическими условиями (короткий вегетационный период) и с физиологическими свойствами возделываемых культур. Почти все растения (за исключением кукурузы) возделываемые в зоне умеренного климата носят характер трехуглевого типа фотосинтеза. Растения принадлежащие к этому типу фо-

тосинтеза характеризуются высокими потребностями в воде и высокой фотодыхательностью, оказывающими влияние на первичную продукцию „нетто”, а тем самым и на их урожай.

Физиологические барьеры растений и климатические барьеры производственных угодий приводят к тому, что выструю интенсификацию растениеводства можно вводить в первую очередь путем применения все более высоких доз минеральных удобрений, с одновременным расширением площади пашни, пастбищ и лугов.

Максимализация интенсификации растениеводства путем удобрения и орошения невыгодна в Польше ввиду малых водных ресурсов. Выбор этого способа может вызвать снижение расходов в реках, рост минеральных и органических загрязнений и ускорение эвтрофикации поверхностных вод.

Второе направление развития сельского хозяйства заключается в умеренной интенсификации растениеводства (50%-ный рост растительной продукции в 2000 году в сравнении с семидесятыми годами) и в повышении использования органического вещества культурных растений. Энзиматическая инженерия и производство биомассы микроорганизмами позволят значительно повысить это использование, способствуя одновременно производству высокоценных питательных веществ. Использование разных побочных продуктов как субстратов для микроорганизмов следует возможной эффективную охрану вод, в первую очередь поверхностных. Только сочетание классических сельскохозяйственных методов с неконвенциональными методами производства основных питательных веществ может обеспечить развитие продовольственной базы, без резких ущербов для природной среды.

Stanisław Wróbel

MAXIMAL UTILIZATION OF CROP PRODUCTION AS A WAY OF THE INTENSIFICATION OF FOOD PRODUCTION AND ENVIRONMENT PROTECTION

S u m m a r y

Main difficulties of a harmonious development of agriculture and environment protection are presented in the paper. They are connected with climatic conditions (a short growing season) and physiological properties of cultivated crops. Almost all crops (except for maize) in moderate climate zones are of the tricarboxylic acid photosynthesis type. Crops with such photosynthesis type show high water requirements and considerable photo-respiration, affecting the primary "net" production and consequently the yield.

Physiological barriers of crops and climatic barriers of production conditions cause that a rapid crop production intensification can be done, first of all, by application of higher and higher amounts of mineral fertilizers, at simultaneous enlargement of irrigated field, pasture and meadow areas.

The maximum crop production intensification by means of fertilization and irrigation is unadvantageous in Poland in view of little water resources. The choice of that way will result in a reduction of outflows in rivers, growth of mineral and organic contaminants and acceleration of eutrophication of surface waters.

Another agriculture development trend consists in a moderate crop production intensification (in the year 2000 50%-tual production growth in relation to 1970s) and in increased use of organic matter of crops. The enzymatic engineering and the biomass production by microorganisms will render possible to increase considerably the above use and at the same time contribute to the production of high-value nutrient substances. The utilization of various by-products as substrates for microorganisms will enable an effective protection of waters, first of all, surface ones. Only the combination of classical farming methods with non-conventional methods of production of basic nutrient substances can ensure the food economy development without any drastic deterioration of the natural environment.