

PORÓWNANIE EFEKTÓW PRODUKCYJNYCH I PRZYRODNICZYCH RÓŻNYCH SYSTEMÓW UPRAWY ZIEMNIAKA W OPARCIU O WYNIKI DOŚWIADCZENIA SYMULACYJNEGO: MODEL DAISY

Władysław Mazurczyk¹, Wojciech Nowacki¹, Jozef Takac²

¹ Instytut Hodowli i Aklimatyzacji Roślin w Radzikowie, Oddział Jadwisin

² Soil Science and Conservation Research Institute in Bratislava

Streszczenie. W artykule przedstawiono wyniki doświadczenia symulacyjnego z wykorzystaniem modelu Daisy (kalibracja „Potato Triada”), obejmującego uprawę ziemniaka w systemach: konwencjonalnym, proekologicznym oraz integrowanym w latach 2000-2006. Badania wykazały, że obornik z właściwym nawadnianiem zapewnił uzyskiwanie najwyższych plonów bulw ziemniaka (około 55 t·ha⁻¹ świeżej masy) zarówno w systemie konwencjonalnym, integrowanym, jak i proekologicznym. Zastosowane metody nawadniania (bilansowa i DSS) eliminowały stres wodny w okresie wegetacji ziemniaka poprzez aplikację sumarycznej dawki wody, wynoszącej około 110 mm. Nawadnianie zwiększało ewapotranspirację oraz liczbę dni stresu azotowego niezależnie od systemu uprawy ziemniaka. Najniższe wartości bilansu azotu obliczono dla systemu integrowanego: opcja dynamiczna 49 kg·ha⁻¹ i statyczna 58 kg·ha⁻¹. Najwięcej azotu w glebie (101 kg·ha⁻¹) pozostało na kombinacji proekologicznej, bez nawadniania. Oszacowany przez Daisy (dla okresu wegetacji) wyciek azotu z gleby wynosił od 8 do 14 kg·ha⁻¹. Model Daisy z kalibracją „Potato Triada” umożliwił symulację plonów ziemniaka ze względny błędem standardowym wynoszącym 15,4%, dla konwencjonalnego systemu uprawy tej rośliny w Instytucie Hodowli i Aklimatyzacji Roślin w Jadwisinie.

Słowa kluczowe: systemy uprawy ziemniaka, doświadczenie symulacyjne, model Daisy, bilans wody i azotu, plon bulw

WSTĘP

Ścisłe doświadczenia polowe były, są i nadal pozostaną koniecznym i głównym elementem badań rolniczych z zakresu produkcji roślinnej. Synteza wyników rozlicznych prac eksperymentalnych pozwoliła na matematyczny opis oddziaływań zachodzą-

cych w skomplikowanym układzie przyrodniczym, jaki stanowi gleba – roślina – atmosfera. Powstałe w ten sposób modele wzrostu i rozwoju roślin umożliwiają odtwarzanie (symulację) zachowania się omawianego układu w zmieniających się warunkach środowiska. Znajdują one wszechstronne zastosowanie, umożliwiając między innymi przeprowadzanie doświadczeń symulacyjnych [Mądry 1995, Faber 1998, Piętka 1998, Hammer i Jordan 2007].

Celem pracy było porównanie plonów bulw oraz bilansu wody i azotu przy uprawie ziemniaka w systemie konwencjonalnym, proekologicznym i integrowanym. Porównania tego dokonano w oparciu o wyniki doświadczenia symulacyjnego, tańszego i mniej pracochłonnego niż tradycyjne doświadczenie polowe.

MATERIAŁ I METODY

Doświadczenie symulacyjne, opisane w tabeli 1, obejmowało lata 2000-2006. Przeprowadzono je na piasku gliniastym lekkim, glebie typowej dla pola doświadczalnego IHAR Jadwisin.

Tabela 1. Opis doświadczenia symulacyjnego uprawy ziemniaka (Jadwisin, 2000-2006)
Table 1. Description of simulation experiment of potato cultivation (Jadwisin, 2000-2006)

System uprawy Cultivation system	Obornik – Manure t·ha ⁻¹	N mineralny – N mineral kg N·ha ⁻¹	Nawadnianie Irrigation
T1 kontrola – control	–	–	–
T2 konwencjonalny – conventional	20	50	–
T3 konwencjonalny nawadniany conventional irrigated	20	50	wg bilansu ³
T4 proekologiczny – pro-ecological	30	–	–
T5 proekologiczny nawadniany pro-ecological irrigated	30	–	wg DSS ⁴
T6dyn integrowany – integrated	20	wg DSSdyn ¹	wg DSS
T6stat integrowany – integrated	20	wg DSSstat ²	wg DSS

¹ dynamiczna opcja DSS: dawki N oraz terminy stosowania wyznaczane były na bieżąco w trakcie trwania wegetacji [Batillani i in. 2006] – dynamic option of DSS: N doses and application dates were determined during the vegetation period

² statyczna opcja DSS: komplet uzupełniających dawek azotu i terminy ich aplikacji wyznaczane były w oparciu o bilans azotu dla początku okresu wegetacji – static option of DSS: set of supplementary N doses and application dates were established based on nitrogen balance for the beginning of vegetation period

³ nawadnianie deszczowniane wg metody bilansowej [Głuska 2004] – overhead irrigation according to simple balance method

⁴ nawadnianie kropkowe wg DSS [Batillani i in. 2006] – drip irrigation according to Decision Support System (DSS)

Pomiary dobowych wartości parametrów meteorologicznych (promieniowania całkowitego, prędkości wiatru, opadu, temperatury i wilgotności powietrza) wykonane zostały przy użyciu automatycznej stacji Campbella, zlokalizowanej w sąsiedztwie pola doświadczalnego IHAR Jadwisin. Stosowano następujące zmianowanie:

- system konwencjonalny i integrowany: ziemniak → pszenica jara → pszenica ozima → jęczmień jary → ziemniak,
- system proekologiczny: ziemniak → groch pastewny + owies → żyto → pszenica jara → ziemniak; cały płodozmian bez nawożenia azotem mineralnym.

Obornik bydlęcy, o zawartości azotu 0,65% świeżej masy, stosowano jesienią roku poprzedzającego uprawę ziemniaka. Identyczną, uśrednioną zawartość azotu posiadał obornik wykorzystany w doświadczeniu polowym wykonanym w ramach realizacji grantu FertOrgaNic. Azot mineralny, w dawce 50 kg N·ha⁻¹, stosowano jednorazowo przed sadzeniem. Nawadnianie kropłowe oraz fertygacja, czyli nawożenie azotem mineralnym w formie płynnej, prowadzone były z wykorzystaniem komputerowego programu wspomagania decyzji DSS v. 4 beta 6 autorstwa Battilani, Hansen i Plauborg [2006]. Jest on dostępny do bezpłatnego wykorzystania na stronie internetowej www.fertorganic.org

Wyniki dotyczące bilansu wody, azotu oraz plonu suchej masy bulw uzyskano poprzez odtworzenie wegetacji roślin ziemniaka przy użyciu modelu Daisy (www.dina.kvl.dk/~daisy/). Wszystkie symulacje przeprowadzono z zastosowaniem kalibracji „Potato Triada” dla średnio wczesnej grupy polskich odmian ziemniaka. Kalibracja to opracowana została w ramach realizacji grantu unijnego FertOrgaNic [Abrahamsen i in. 2006, Heidmann i in. 2008]. W doświadczeniu symulacyjnym wykorzystano rzeczywiste terminy sadzenia oraz zasychania roślin grupy odmian średnio wczesnych, jak również rodzaje zabiegów pielęgnacyjnych i terminy ich stosowania. Dane te dotyczyły pola doświadczalnego IHAR Jadwisin. Dla systemu uprawy konwencjonalnej porównano plony symulowane (T2) z rzeczywistymi, uzyskanymi na polu doświadczalnym IHAR Jadwisin. W tym celu wykorzystano wzory 1 i 2 [Faber 1996]:

$$SSBO = \sqrt{1/(N-1) \cdot \sum (X - \hat{X})^2} \quad (1)$$

gdzie:

- SSBO – średni standardowy błąd oceny,
- X – plon doświadczalny,
- N – liczba par danych,
- \hat{X} – plon symulowany.

$$WSSBO = \frac{100}{\bar{x}} \cdot SSBO \quad (2)$$

gdzie:

- WSSBO – względny standardowy błąd symulacji,
- \bar{x} – średni plon doświadczalny.

WYNIKI I DYSKUSJA

Daisy jest bardzo skomplikowanym modelem symulacyjnym, umożliwiającym badanie reakcji całych agroekosystemów na działanie różnorodnych czynników [Hansen i in. 1991, Abrahamsen i Hansen 2000, Hansen i in. 2001]. Jedną z jego licznych zalet jest możliwość uwzględniania płodozmianu, co zostało wykorzystane w omawianym doświadczeniu symulacyjnym. W każdym roku badań symulacja okresu wegetacji ziemniaka poprzedzona została symulacją czteroletniego zmianowania, zróżnicowanego w zależności od rodzaju badanego systemu uprawy ziemniaka.

Zróżnicowanie efektu produkcyjnego przebadanych systemów uprawy ziemniaka dokonano w oparciu o plony suchej masy bulw (tab. 2). Najwyższe symulowane plony,

zarówno średnie (nieco ponad $10 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$), jak i maksymalne ($13,3 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$), uzyskano na kombinacjach nawadnianych przy wykorzystaniu metody bilansowej (T3) lub komputerowego systemu wspomagania decyzji (T5). Przy średniej zawartości suchej masy w bulwach odmian średnio wczesnych, wynoszącej 23%, plony świeżej masy wynosiłyby odpowiednio: średnie 43, a maksymalne $58 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$. Nieco niższy plon suchej masy ($9,83 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$) wystąpił na obiekcie z integrowaną uprawą ziemniaka w opcji statycznej – T6stat. Zdecydowanie najniższy plon ($6,39 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$) pochodził z obiektu kontrolnego. Charakteryzował się on niską zmiennością, podobnie jak plony z kombinacji T2 i T6dyn, ze współczynnikiem zmienności mniejszym od 20%. W pozostałych czterech kombinacjach wartości współczynnika zmienności zawarte były między 26 a 30%. Zmienność plonów omawianego doświadczenia symulacyjnego była znacznie mniejsza w porównaniu z symulacją plonów ziemniaka wykonaną przez Fabera [2002] przy użyciu modelu WOFOST, gdzie wartość tego współczynnika wynosiła 44%.

Tabela 2. Plony suchej masy bulw ziemniaka doświadczenia symulacyjnego, $\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$ (Jadwisin, 2000-2006)

Table 2. Potato tuber dry matter yields of simulation experiment, $\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$ (Jadwisin, 2000-2006)

System uprawy Cultivation system	Plon ziemniaka – Potato yield, $\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$			
	średni mean	minimalny minimum	maksymalny maximum	CV ¹
T1 kontrola – control	6,39	5,13	8,41	18,2
T2 konwencjonalny – conventional	8,57	6,77	10,46	16,8
T3 konwencjonalny nawadniany conventional irrigated	10,07	4,47	13,31	30,3
T4 proekologiczny – pro-ecological	8,39	4,73	12,23	27,7
T5 proekologiczny nawadniany pro-ecological irrigated	10,60	4,46	13,31	27,6
T6dyn integrowany – integrated	8,14	6,78	10,42	17,4
T6stat integrowany – integrated	9,83	5,11	12,77	26,0
NIR _{0,05} – LSD _{0,05}	1,44			

¹ współczynnik zmienności – coefficient of variability, %

Badane systemy uprawy nie różnicowały znacząco bilansu wody, którego ujemna wartość oscylowała wokół 100 mm (tab. 3). Okazało się, że zastosowane nawadnianie – w sumarycznej dawce około 100 mm na poszczególnych kombinacjach – znacząco zwiększało ewapotranspirację. Tym samym nie poprawiało ono bilansu wody. Na uwagę zasługuje również brak zróżnicowania w ilości wody przesiąkanej (około 60 mm) na poszczególnych systemach uprawy.

Bilans azotu, przedstawiony w tabeli 4, może być podstawą oceny środowiskowych skutków stosowania tego składnika pokarmowego w badanych systemach uprawy ziemniaka. Przyjmuje się, że saldo bilansu azotu w granicach od 30 do $50 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$ jest poprawne dla środowiska [Igras 2006]. Powyższe kryterium spełnia tylko dynamiczna opcja systemu integrowanego (T6dyn), chociaż na kombinacjach: konwencjonalnej (T3) oraz integrowanej (T6stat) graniczna wartość $50 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$ była przekroczona tylko o kilka kilogramów. Najbardziej niekorzystne saldo azotu ($101 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) stwierdzono na obiektach z ekologicznym systemem uprawy ziemniaka (T3 bez nawadniania), gdzie z obornikiem ($30 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$) wprowadzono $196 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$.

Tabela 3. Bilans wody dla poszczególnych kombinacji doświadczenia symulacyjnego, średnie dla lat 2000-2006

Table 3. Water balance for the simulation experiments treatments tested, means for 2000-2006

Wyszczególnienie Specification	System uprawy: kombinacja – Cultivation system: treatment						
	T1	T2	T3	T4	T5	T6dyn	T6stat
Przychód wody – Water input, mm							
Opad – Precipitation	279	279	279	279	279	279	279
Nawadnianie – Irrigation	0	0	112	0	105	107	108
Strata wody – Water loss, mm							
Ewapotranspiracja Evapotranspiration	329	341	432	337	408	417	427
Przeiąkanie – Percolation	58	58	58	60	63	59	59
Bilans wody – Water balance	-108	-120	-100	-110	-87	-90	-99

Tabela 4. Bilans azotu dla poszczególnych kombinacji doświadczenia symulacyjnego, średnie dla lat 2000-2006

Table 4. Nitrogen balance for the simulation experiments treatments tested, means for 2000-2006

Wyszczególnienie Specification	System uprawy: kombinacja – Cultivation system: treatment						
	T1	T2	T3	T4	T5	T6dyn	T6stat
Wnoszenie azotu – Nitrogen input, kg·ha ⁻¹							
Azot mineralny – N mineral	0	50	50	0	0	28	60
Azot organiczny – N organic	0	130	130	196	196	130	130
Azot atmosferyczny – Atmospheric N	8	8	8	8	8	8	8
Azot sadzeniaków – Seed-potatoes N	4	4	4	4	4	4	4
Wynoszenie azotu – Nitrogen output, kg·ha ⁻¹							
Denitryfikacja – Denitrification	9	9	15	9	13	15	14
Wyciek – Leakage	14	14	14	8	9	14	14
Azot bulw – Tuber N	61	95	104	90	100	92	116
Saldo azotu – N balance	-72	74	59	101	86	49	58

Doświadczenie symulacyjne objęło lata o zróżnicowanych warunkach wilgotnościowych (tab. 5) – od bardzo suchych okresów wegetacji lat 2002 i 2005 do umiarkowanie optymalnego 2001 roku. Okresy wegetacji różniły się również dystrybucją opadów, od bardzo korzystnej w 2004 do wyjątkowo nierównomiernej w 2006 roku, kiedy to dotkliwa susza wystąpiła w lipcu, a nadmiar opadów w sierpniu. Dlatego liczba dni stresu wodnego wyniosła wówczas aż 23 (tab. 5) pomimo korzystnego bilansu P-ETR (2 mm) dla omawianego 2006 roku. Model Daisy oblicza dla każdej godziny wegetacji roślin ich zapotrzebowanie na wodę i azot oraz możliwości pokrycia tego zapotrzebowania. Jeśli ilość wody i azotu dostępna dla roślin jest mniejsza od zapotrzebowania na nie, to pojawia się stres, którego długość trwania jest wprost proporcjonalna do niedoboru tych składników. Przy niedoborze np. 25% któregoś ze składników długość trwania stresu w danej godzinie wynosi 15 minut. Liczba dni stresowych, podana w tabelach 5 i 6, została obliczona poprzez zsumowanie wszystkich krótkich odcinków czasowych. Przeciętna liczba dni stresu wodnego dla uprawy ziemniaka bez nawadniania, w latach 2000-2006, została oszacowana na 26 dni (tab. 6). Nawadnianie, zarówno deszczowniane, jak i kroplowe, prawie całkowicie wyeliminowało stres wodny. Jednak towarzyszyło temu zwiększenie liczby dni stresu azotowego na wszystkich obiektach nawadnianych,

niezależnie od systemu uprawy ziemniaka. Stresu azotowego nie wyeliminowano nawet na kombinacji z fertygacją dynamiczną (T6dyn), która powinna być najbardziej predestynowana do tego celu. Wręcz przeciwnie, zbyt mała ilość azotu mineralnego zastosowanego na tej kombinacji ($28 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$, tab. 4) doprowadziła do największej liczby (14) dni stresu azotowego w czasie wegetacji. Oznacza to konieczność poprawy działania opcji dynamicznej systemu wspomagania decyzji DSS.

Tabela 5. Charakterystyka stosunków wodnych okresu wegetacji ziemniaka w latach badań
Table 5. Water relations during the vegetation period of potato in the research years

Rok – Year	P ¹ , mm	ETR ² , mm	P-ETR, mm	Liczba dni – Number of days
2000	231	308	-77	24
2001	374	386	-12	5
2002	186	268	-82	37
2003	281	329	-48	29
2004	273	344	-71	29
2005	230	295	-65	37
2006	376	374	2	23

¹ opad w okresie: kwiecień – zaschnięcie roślin – precipitation for the period: April – plant drying-up

² ewapotranspiracja rzeczywista dla kombinacji T1 – treatment T1 real evapotranspiration

³ liczba dni stresu wodnego dla T1³ – number of water stress days for T1³

Tabela 6. Liczba dni stresu wodnego i azotowego oszacowana przez model Daisy dla poszczególnych systemów uprawy ziemniaka, średnie dla lat 2000-2006

Table 6. Number of water and nitrogen stress days assessed with the use of the Daisy model for respective systems of potato cultivation, means for 2000-2006

Liczba dni Number of days	System uprawy: kombinacja – Cultivation system: treatment						
	T1	T2	T3	T4	T5	T6dyn	T6stat
Stresu wodnego Water stress	26	25	4	25	4	3	3
Stresu azotowego Nitrogen stress	13	5	11	5	12	14	10

Dla konwencjonalnego (bez nawadniania) systemu uprawy porównano plony rzeczywiste uzyskane na polu doświadczalnym IHAR Jadwisin z symulowanymi (kombinacja T2). Średnie tych dwóch rodzajów plonów były prawie identyczne, odpowiednio: $8,50$ i $8,57 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ (tab. 7). Jednak średni standardowy błąd oceny (WSSBO), wynoszący $15,4\%$, wskazuje na spore niedokładności w symulacji przy użyciu kalibracji „Potato Triada”. Prezentowana w tej pracy jakość symulacji jest jednak lepsza od symulacji plonów ziemniaka wykonanej za pomocą modelu WOFOST [Błoch i in. 1997]. W cytowanej pracy podano bowiem wartość WSSBO wynoszącą $26,9\%$ przy porównaniu plonów symulowanych z rzeczywistymi, uzyskanymi w ZD Grabów. Największe rozbieżności między plonami rzeczywistymi i symulowanymi dla Jadwisina wystąpiły w latach 2001 ($2,32 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$) i 2000 ($1,52 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$), tabela 7. W pięciu pozostałych latach (2002-2006) zróżnicowanie to było znacznie mniejsze, a błąd oceny symulacji wyliczony tylko dla nich wynosił $9,7\%$. Świadczy to już o dobrej jakościowo symulacji, bowiem przyjmuje się, że wartość tego błędu dla serii lat na danym polu nie powinna przekraczać 10% [Faber 2002].

Tabela 7. Porównanie plonów rzeczywistych (Ya) i symulowanych (Ysim-T2) dla konwencjonalnego systemu uprawy ziemniaka, t DM·ha⁻¹Table 7. Comparison of measured (Ya) and simulated (Ysim-T2) yields for the conventional system of potato cultivation, t DM·ha⁻¹

Rok – Year	Ya	Ysim-T2
2000	8,94	10,46
2001	9,20	6,88
2002	8,62	7,84
2003	8,69	9,55
2004	9,28	9,73
2005	7,10	6,77
2006	7,68	8,73
Średnia – Mean	8,50	8,57
CV ¹ , %	9,6	16,8
WSSBO ² , %	15,4	

¹ współczynnik zmienności – coefficient of variability² względny standardowy błąd oceny – relative root mean square error (RRMSE)

WNIOSKI

1. Obornik z właściwym nawadnianiem zapewniał uzyskiwanie najwyższych plonów bulw (około 55 t·ha⁻¹ świeżej masy) zarówno w systemie konwencjonalnym, integrowanym, jak i proekologicznym.

2. Badane metody nawadniania (bilansowa i DSS) eliminowały stres wodny w okresie wegetacji ziemniaka poprzez aplikację sumarycznej dawki wody wynoszącej około 110 mm.

3. Zastosowane nawadnianie deszczowniane i kroplowe zwiększyło ewapotranspirację oraz liczbę dni stresu azotowego, niezależnie od systemu uprawy ziemniaka.

4. Opcja dynamiczna fertygacji azotu systemu DSS v. 4 beta 6 nie zapewniła właściwego odżywienia roślin ziemniaka azotem.

5. System integrowany uprawy ziemniaka charakteryzowały najniższe wartości bilansu azotu, około 50 kg·ha⁻¹.

6. Oszacowany przez Daisy, dla okresu wegetacji, wyciek azotu z gleby wynosił od 8 do 14 kg·ha⁻¹.

7. Model Daisy z kalibracją „Potato Triada” umożliwił symulację wieloletnich plonów ziemniaka ze względnym błędem standardowym wynoszącym 15,4% dla konwencjonalnego systemu uprawy tej rośliny w IHAR Jadwisin.

PIŚMIENNICTWO

- Abrahamsen P., Battilani A., Coutinho J., Doležal F., Heidmann T., Mazurczyk W., Ruiz J.D.R., Takáč J., Tofteng C., 2006. Daisy calibration. Results from the EU project FertOrgaNic, Deliverable D 5_1, www.fertorganic.org
- Abrahamsen P., Hansen S., 2000. Daisy: An Open Soil-Crop-Atmosphere System Model. *Environ. Modell. Softw.* 15, 313-330.
- Batillani A., Hansen S., Plauborg F., 2006. Decision Support System (DSS), www.fertorganic.org
- Błoch Z., Faber A., Demidowicz G., Kamasa J., 1997. Zastosowanie modelu WOFOST do symulacji wzrostu i plonowania ziemniaków uprawianych w Polsce. II. Weryfikacja modelu. *Fragm. Agron.* 14, 96-101.

- Faber A., 1996. Modele deterministyczne [W:] Analiza stosowalności zagranicznych metod prognozowania plonów w warunkach Polski. IUNG Puławy, 43-93.
- Faber A., 1998. Naukowa i uzyteczna przydatność modeli wzrostu i rozwoju roślin. *Fragm. Agron.* 15, 5-12.
- Faber A., 2002. Środowiskowe uwarunkowania produkcji roślinnej w Polsce i Europie według symulacji CGMS. *Pam. Puł.* 130, 137-160.
- Hammer G.L., Jordan D., 2007. Modelling for innovation in design and construction of crop production systems [In:] *Farming Systems Design 2007*, Int. Symposium, Catania, Italy, 1, 11-12.
- Hansen S., Jensen H.E., Nielsen N.E., Svendsen H., 1991. Simulation of nitrogen dynamics and biomass production in winter wheat using the Danish simulation model Daisy. *Fert. Res.* 27, 245-259.
- Hansen S., Thirup C., Refsgaard J.C., Jensen L.S., 2001. Modelling of nitrate leaching at different scales – application of the Daisy [In:] *Modeling Carbon and Nitrogen Dynamics for Soil Management*, M. Shaffer, M. Liwang, S. Hansen (eds.), Lewis Publishers, Boca Raton, 511-547.
- Heidmann T., Tofteng C., Abrahamsen P., Plauborg F., Hansen S., Battilani A., Coutinho F., Doležal F., Mazurczyk W., Ruiz J. D. R., Takáč J., 2008. Calibration procedure for a potato crop growth model using information from across Europe. *Ecological Modelling.* 211, 209-223.
- Igras J., 2006. Środowiskowe skutki nawożenia roślin w Polsce [W:] *Mat. Sem. Nowoczesne nawożenie i nawadnianie ziemniaka uwzględniające ochronę środowiska oraz jakość plonu bulw*. IHAR Oddział Jadwisin, 19-22.
- Głuska A., 2004. Potrzeby wodne ziemniaka i zasady nawadniania plantacji. IHAR Oddział Jadwisin.
- Mądry W., 1995. Ogólna charakterystyka wybranych modeli symulujących wzrost, rozwój i plonowanie roślin. *Fragm. Agron.* 12, 5-17.
- Piętka J., 1998. Potrzeby i możliwości modelowania matematycznego wzrostu roślin i plonowania. *Post. Nauk Rol.* 4, 51-65.

COMPARISON OF THE PRODUCTION AND ENVIRONMENTAL EFFECTS OF DIFFERENT POTATO CULTIVATION SYSTEMS BASED ON THE SIMULATION EXPERIMENT: THE DAISY MODEL

Abstract. This paper describes the results of the simulation experiment with use of Daisy model ('Potato Triada' calibration) which covered potato cultivation over 2000-2006 and three potato cultivation systems: conventional, pro-ecological and integrated. The results show that manure with proper irrigation ensured the highest potato tuber yields (about 55 t·ha⁻¹ of fresh weight) in all the systems tested. The irrigation methods used (simple balance and decision support system: DSS) eliminated water stress during the potato vegetation period with the application of the total irrigated water rate of about 110 mm. Irrigation increased evapotranspiration and the number of N stress days regardless of potato cultivation system. The lowest values of nitrogen balance were 49 and 58 kg N·ha⁻¹ in integrated (dynamic and static options) systems of cultivation. The highest content of N in soil (101 kg N·ha⁻¹) remained in pro-ecological combination, without irrigation. For the vegetation period the nitrogen leakage from soil assessed by Daisy ranged from 8 to 14 kg N·ha⁻¹ for the period of potato vegetation. The Daisy model with the 'Triada Potato' calibration facilitated the simulation of potato yields with RRMSE of 15.4%, for the conventional cultivation system of that crop in Plant Breeding and Acclimatization Institute Jadwisin.

Key words: potato cultivation systems, simulation experiment, Daisy model, water and nitrogen balance, tuber yield

Zaakceptowano do druku – Accepted for print: 20.11.2007