

WYZNACZENIE WYBRANYCH CECH NASION ROŚLIN UPRAWNYCH
POPRAZ IDENTYFIKACJĘ PARAMETRÓW MODELI KINETYKI
ABSORPCJI WODY FUNKCJĄ LOGISTYCZNĄ
ORAZ RÓWNANIEM CHAPMANA

Krzysztof Kornarzyński, Bożena Gładyszewska

Katedra Fizyki
Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie
Akademicka 13, 20-950 Lublin
e-mail: krzysztof.kornarzynski@up.lublin.pl

Streszczenie. Celem pracy było modelowanie procesu pobierania wody przez nasiona wybranych roślin uprawnych. Opis matematyczny funkcją logistyczną oraz równaniem Chapmana przeprowadzono dla pierwszej i drugiej fazy procesu poprzedzających kiełkowanie. Wyznaczono parametry charakteryzujące proces kinetyki pobierania wody wynikające z właściwości tych funkcji, związanych z ważnymi parametrami charakteryzującymi badane nasiona. Współczynnik MWR (maksymalnej szybkości pobierania wody w punkcie przegięcia krzywej logistycznej) osiągnął największą wartość dla rzodkiewki ($39,61 \cdot 10^{-3} \text{ kg wody} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ s} \cdot \text{m} \cdot \text{h}^{-1}$) i buraka ($69,16 \cdot 10^{-3} \text{ kg wody} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ s} \cdot \text{m} \cdot \text{h}^{-1}$), najniższą zaś dla bobiku ($5,35 \cdot 10^{-3} \text{ kg wody} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ s} \cdot \text{m} \cdot \text{h}^{-1}$) i fasoli ($7,07 \cdot 10^{-3} \text{ kg wody} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ s} \cdot \text{m} \cdot \text{h}^{-1}$).

Słowa kluczowe: nasiona, pobieranie wody, funkcja logistyczna, równanie Chapmana

WSTĘP

W przyrodzie woda występuje w formie roztworów rzeczywistych, koloidowych, zawiesin oraz jako woda związana z różnymi substancjami, komórkami i organami (Paquet-Durand i in. 2015). Wodę zawartą w ziarniaku można podzielić na cztery frakcje: kapilarną, osmotyczną, adsorpcyjną i chemicznie związaną (Grzesiuk i Kulka 1981). W powietrznie suchych ziarniakach stan wody jest uważany za uporządkowany system, łączący w sobie biopolimery cytomembran, białka i polisacharydy, z różnorodnością kapilar ziarniaka (Navarro i in. 2002, Reichert 2003, Obendorf i in. 2005).

W procesie wnikania wody do ziarniaka wyróżnić można trzy fazy (Milthorpe i in. 1979, Grzesiuk i Kulka 1981), gdzie pierwsza faza jest krótka, całkowicie odwracalna, nie obniża żywotności i wigoru nasion, a często poprawia ich

właściwości technologiczne. Druga faza pobierania wody wynosi od kilku do kilkunastu godzin i jest również odwracalna, ale jej przerwanie połączone z obniżeniem wilgotności zmniejsza wigor i częściowo żywotność ziarniaków. W trzeciej fazie mamy do czynienia ze zjawiskami związanymi z początkiem kiełkowania i jest ona pod względem fizjologicznym nieodwracalna, co oznacza, że ziarniaki po wysuszeniu tracą całkowicie żywotność (Kopcewicz i Lewak 2002).

Zwykle w badaniach pobierania wody przez nasiona stosowny jest albo kontakt z wilgotnym podłożem (bibuła itp.) przy pełnym dostępie powietrza, albo z nasionami zanurzonymi w wodzie bez dostępu powietrza (Verma i in. 1999, Maskan 2001, Bello i in. 2010). Dlatego prowadzone są badania kinetyki wnikania wody m.in. przez poszczególne części ziarniaka.

W badaniach Daouda i innych pomiar polegał na izolacji wybranych fragmentów ziarniaka i pokryciu ich odpowiednim lakierem uniemożliwiającym wchłanianie wody (Daoud i in. 1977). W innym przypadku badania dróg wnikania wody do ziarniaka wykorzystano jod i inne barwniki (Ciemiewska 1978) lub badano krzywe absorpcji różnych odmian ryżu w temperaturze 30-60°C, gdzie uzyskano cyfrowe obrazy ziaren, które analizowano za pomocą trójchromatycznych parametrów barwy (Shittu i in. 2012).

Lukas i inni (2007) stosując wizualizację ruchu wody w ziarniakach, przy wykorzystaniu mikroobrazowania NMR uzyskali precyzyjne informacje dotyczące ruchu wody w ziarniakach. Horigane i współpracownicy (2013) stosowali magnetyczne obrazowanie rezonansu (MR) oraz jądrowy rezonans magnetyczny (NMR) profilu intensywności sygnału (SI-profil), który został wygenerowany z obrazu MR również do celów obserwacji i analizy ruchu wody w ziarniakach. Przenikanie wody do ziarna ryżu podczas moczenia monitorowano metodą gradientu trójwymiarowego echa rezonansu magnetycznego obrazowania, która ma tę zaletę, że w krótkim czasie pomiaru posiada czułość wystarczającą do badania próbek o niskiej wilgotności (Horigane i in. 2006).

Resio i in. (2003, 2005) badając proces pobierania wody przez nasiona amarantusa w temperaturach od 30 do 60°C, zaobserwowali największą szybkość tego procesu dla wyższych temperatur. Dla kinetyki uwodnienia łubinu andyjskiego przeprowadzono analizę mikrostruktury ziaren przy użyciu skaningowego mikroskopu elektronowego oraz kinetykę uwodnienia dla różnych temperatur. Podwyższenie temperatury procesu spowodowało wzrost szybkości absorpcji wody, skrócenie czasu nawodnienia i wyższą wilgotność końcową (Miano i in. 2015). Zjawiska wymiany ciepła i masy, która odbywa się w czasie procesu kinetyki pęcznienia nasion jęczmienia, opracowano, biorąc pod uwagę trójwymiarową geometrię ich termofizycznych właściwości zależnych od zawartości wody. Model reprezentowały dane doświadczalne, które mogą być stosowane do symulacji procesu projektowania nawodnienia zbóż umożliwiającą zmniejszenie czasu i kosztów tego procesu (Montanuci i in. 2014 i 2014).

W badaniach zazwyczaj stosowane są dwa sposoby pobierania wody: poprzez kontakt nasion z wilgotnym podłożem przy pełnym dostępie powietrza (tzw. matrykondycjonowanie) oraz dla nasion zanurzonych w wodzie bez dostępu powietrza (tzw. hydrokondycjonowanie), gdzie nasiona są cyklicznie osuszane i ważone (Grzesik i Janas 2011, Grzesik i in. 2011, Nawaz i in. 2013). Niestety metody te są mało precyzyjne, co może być przyczyną wielu błędów pomiarowych (Maskan 2001, Bello i in. 2004, Miano i in. 2015).

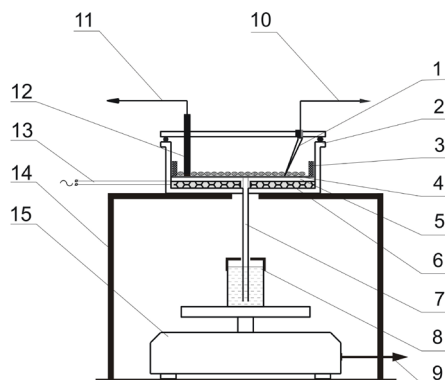
Celem niniejszej pracy było modelowanie procesu pobierania wody przez wybrane nasiona roślin uprawnych: buraka, rzodkiewki, fasoli, bobiku oraz pszenicy. Do pomiaru pobierania wody zastosowano metodę kapilarno-wagową. Do modelowania procesu pobierania wody w pierwszej i drugiej fazie procesu poprzedzających kiełkowanie zastosowano równanie logistyczne oraz równanie Chapmana.

MATERIAŁ I METODY

Badanie kinetyki pobierania wody przeprowadzono dla powietrznie suchych nasion fasoli odm. „Eureka” o zawartości wody $Z_w = 0,099$ kg wody·kg⁻¹ s.m., bobiku odm. „Windsor Biały” o $Z_w = 0,068$ kg wody·kg⁻¹ s.m., rzodkiewki odm. „Murzynka” o $Z_w = 0,052$ kg wody·kg⁻¹ s.m., buraka ćwikłowego odm. „Okragły Czerwony” o $Z_w = 0,071$ kg wody·kg⁻¹ s.m., pszenicy jarej odm. „Henika” o $Z_w = 0,094$ kg wody·kg⁻¹ s.m. Nasiona przed pomiarem przechowywano w temperaturze i w warunkach pokojowych. Do badań wybrano nasiona różniące się od siebie budową okrywy nasiennej, wielkością i składem chemicznym. Nasiona roślin zbożowych – pszenica jara, nasiona roślin bobowatych – bobik i fasola, pozostałe nasiona niepęczniejące – burak ćwikłowy i rzodkiewka zostały wybrane jako reprezentujące poszczególne grupy nasion roślin uprawnych.

Badania przeprowadzono w układzie do pobierania wody metodą kapilarno-wagową w temp. 20°C, którego schemat przedstawia rys. 1.

Metoda kapilarno-wagowa polega na rejestrowaniu zmiany masy wody w zlewce stojącej na wadze (Kornarzyński i in. 2000 i 2002). Schemat układu pomiarowego przedstawia rys. 1. Nasiona umieszczone zostały w termostatowanym pojemniku (2), w którym stałą temperaturę zapewniał regulator termostatu RE65A215 zasilaający grzałkę (6) i współpracujący z czujnikiem Pt-100 (12). Temperaturę mierzono za pomocą termopary (1). Umieszczona w dolnej części pojemnika bibuła (5) ściśle przylegała do szklanej kapilary (7) o średnicy $\varphi_{wewn} = 1,0$ mm wklejonej w dno naczynia. Drugi koniec kapilary umieszczono w pojemniku z wodą (8) spoczywającym na wadze elektronicznej WPS 360/C (15) połączonej z komputerem zbierającym dane pomiarowe przez wyjście RS (9).



Rys. 1. Schemat układu pomiarowego: 1 – termopara, 2 – termostatowany zbiornik z nasionami, 3 – forma z nasionami, 4 – nasiona, 5 – bibuła zamocowana do formy, 6 – grzałki, 7 – kapilara, 8 – pojemnik z wodą, 9 – wyjście do komputera, 10 – wyjście do miernika temperatury, 11 – wyjście do układu sterującego, 12 – czujnik Pt-100, 13 – zasilanie grzałek, 14 – stolik, 15 – waga elektroniczna

Fig. 1. Schematic diagram of the measurement unit: 1 – thermocouple, 2 – thermostat controlled container with seeds, 3 – dish with seeds, 4 – seeds, 5 – filter paper attached to the seed dish, 6 – heater, 7 – capillary, 8 – water container, 9 – output to a computer, 10 – output to a temperature meter, 11 – output to the control system, 12 – sensor Pt-100, 13 – heaters power supply, 14 – table, 15 – electronic balance

Zmianę zawartości wody w próbce ΔZ_K dla k-tego pomiaru w danym czasie t obliczano z zależności:

$$\Delta Z_K = \frac{(m_{PW} - m_{KW}) - m_{PAR}}{m_{PZ}} \quad (1)$$

gdzie: m_{PW} – masa początkowa wody w zlewce w chwili rozpoczęcia pomiarów (kg), m_{KW} – masa wody w zlewce dla k-tego pomiaru (kg), m_{PZ} – masa początkowa nasion/ziarna w chwili rozpoczęcia pomiarów (kg), m_{PAR} – masa wody, która wyparowała ze zlewki przez pierścieniowy otwór w przykrywce (kg), wynosiła $\Delta m_{PAR} = 5 \cdot 10^{-5} \text{ kg} \cdot \text{h}^{-1}$.

Do opisu I i II fazy procesu pobierania wody, przy wykorzystaniu metody kapilarno-wagowej, zastosowano równanie logistyczne (Torres i in. 1989, 1990) oraz zmodyfikowane równanie Chapmana (zwane również funkcją Chapmana-Richards'a), które posiada formę równania ładowania kondensatora (Sharma i Parton 2007). Czas końca drugiej fazy pobierania wody został ustalony na podstawie pomiarów kiełkowania nasion/ziarna na płytkach Petriego. Dla nasion pszenicy i rzodkiewki czas ten ustalono na 35 godz., buraka 40 godz., fasoli i bobiku na 60 godzin. Funkcja logistyczna wykorzystana w pracy posiadała następującą postać:

$$Z_N = Z_K (1 + \exp(\beta - K t))^{-1} \quad (2)$$

gdzie: Z_N – zawartość wody w czasie t , Z_K – końcowa zawartość wody w nasionach przed kiełkowaniem, β i K – współczynniki, t – czas. Dzięki zastosowaniu krzywej logistycznej wyznaczyć można parametry charakteryzujące proces pobierania wody: β/K – czas uzyskania punktu przegięcia krzywej logistycznej, MWR – maksymalna szybkość pobierania wody w punkcie przegięcia krzywej logistycznej ($MWR = Z_K \cdot K/4$). Z zależności (2) wynika, że w przypadku gdy wyrażenie $'1+\exp(\beta-Kt)' \rightarrow 1$ (dąży do liczby jeden) to $Z_N \rightarrow Z_K$, czyli do końcowej zawartości wody w nasionach przed kiełkowaniem, co ma miejsce gdy $'\exp(\beta - Kt)' \rightarrow 0$ (dąży do zera). W ten sposób przebieg krzywej logistycznej będzie zależał głównie od zależności pomiędzy współczynnikami β i K oraz położenia punktu przegięcia. Należy pamiętać o tym, że krzywa logistyczna jest symetryczna względem swojego punktu przegięcia.

Do wyznaczenia współczynników wybranych modeli wykorzystano program Grapher 4. Za pomocą tego programu określono parametry równań regresji dla obu modeli oraz wykonano rysunki obrazujące wyniki pomiarów (<http://www.golden-software.com/products/grapher>).

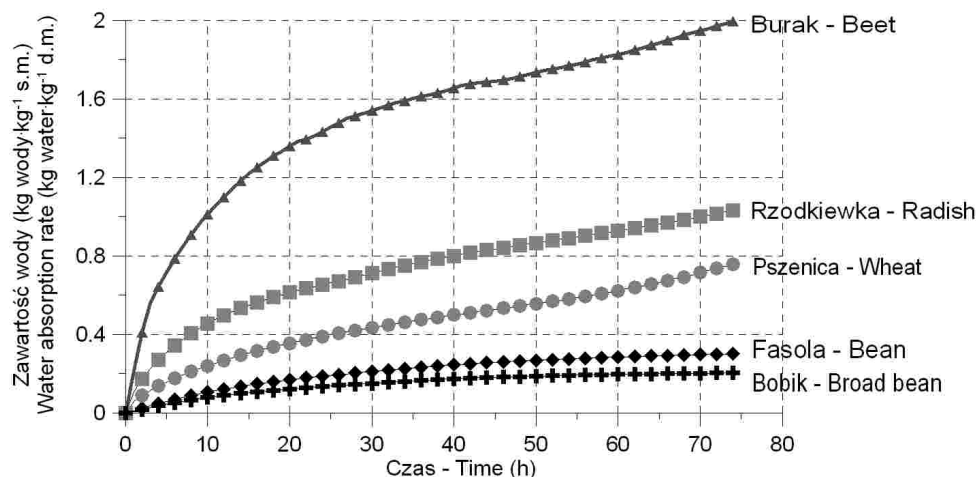
Czteroparametryczne równanie Chapmana: $y = a(1 - \exp(-b \cdot x))^c + d$ uproszczono do postaci wyrażonej równaniem (3) dla $c = 1$:

$$Z_W = Z_K(1 - \exp(-tB)) + Z_P \quad (3)$$

gdzie: Z_K – końcowa zawartość wody w nasionach, Z_P – początkowa zawartość wody w nasionach, B – współczynnik charakteryzujący właściwości sorpcyjne porowatego materiału roślinnego, t – czas. Współczynnik B charakteryzuje właściwości materiału porowatego, który posiada wymiar odwrotności czasu t , stąd jest „stałą czasową układu” i dla kinetyki absorpcji wody charakteryzuje materiał i warunki zewnętrzne procesu.

WYNIKI BADAŃ

Wyniki badań kinetyki pobierania wody metodą kapilarno-wagową, dla wybranych nasion roślin uprawnych, przedstawiono w postaci wykresów punktowych na rysunku 2, dla czasu próbkowania 300 sekund. Poszczególne charakterystyki pobierania wody dla badanych nasion uzyskane zostały jako wartość średnia z trzech serii pomiarowych. Współczynniki i oceny zgodności modelowania procesu pobierania wody przez nasiona funkcją logistyczną i równaniem Chapmana zostały przedstawione w tabeli 1 i 2. Wykresy dopasowania do punktów pomiarowych szybkości pobierania wody dla obu zastosowanych funkcji przedstawia rysunek 3.



Rys. 2. Zmiana zawartości wody w nasionach roślin uprawnych

Fig. 2. Rate of water absorption by seeds of crop plants

Tabela 1. Współczynniki modelu logistycznego i wyznaczone dzięki niemu wskaźniki procesu pobierania wody przez nasiona roślin uprawnych

Table 1. Coefficients of the logistic model and indicators of the process of water absorption by crop plant seeds determined through the model

| | Bobik Broad bean | Rzodkiewka Radish | Pszenica Wheat | Fasola Bean | Burak Beet |
|---------------------|---------------------|----------------------|-------------------|----------------|---------------|
| Z_K | 0,263±0,019 | 0,758±0,026 | 0,541±0,021 | 0,353±0,025 | 1,613±0,043 |
| β | 0,698±0,042 | 1,495±0,039 | 0,982±0,045 | 0,904±0,056 | 1,081±0,037 |
| K (h) | 0,082±0,005 | 0,209±0,007 | 0,112±0,004 | 0,080±0,003 | 0,172±0,015 |
| β/K (h) | 8,56±0,35 | 7,15±0,32 | 8,06±0,41 | 11,27±0,89 | 6,31±0,29 |
| $MWR \cdot 10^{-3}$ | 5,35±0,27 | 39,61±0,32 | 13,46±0,97 | 7,07±0,49 | 69,16±4,13 |
| R^2 | 0,971±0,017 | 0,984±0,012 | 0,978±0,016 | 0,989±0,011 | 0,973±0,021 |

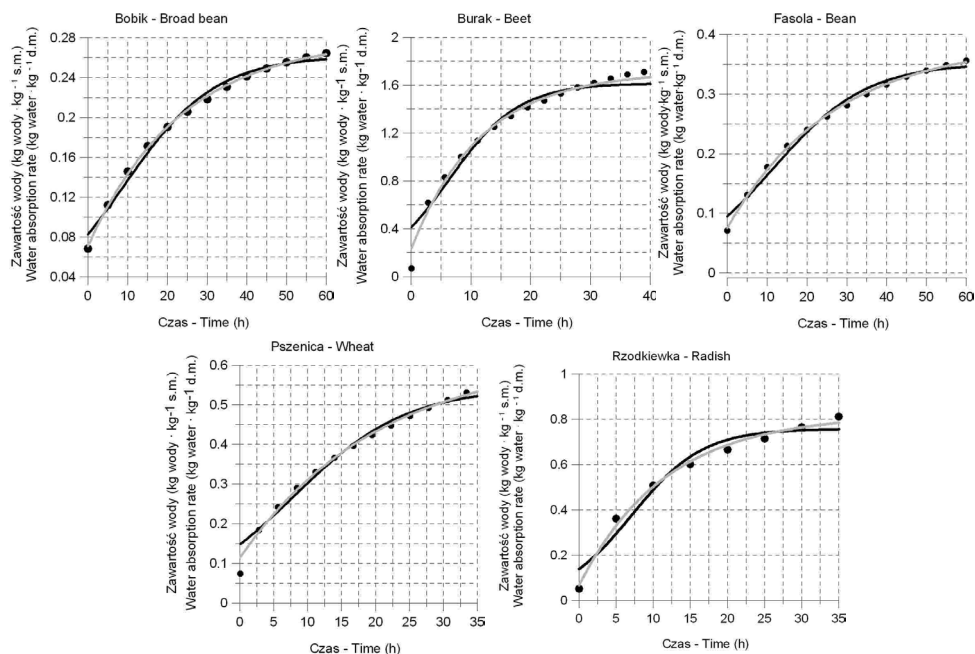
Z_K – w kg wody·kg⁻¹ s.m. / in kg water kg⁻¹ d.m.; MWR – w kg wody kg⁻¹ s.m.·h⁻¹ / in kg water kg⁻¹ d.m.

Tabela 2. Współczynniki równania Chapmana i wyznaczone dzięki niemu wskaźniki procesu pobierania wody przez nasiona roślin uprawnych

Table 2. Coefficients of the Chapman equation and indicators of the process of water absorption by crop plant seeds determined through the equation

| | Bobik Broad bean | Rzodkiewka Radish | Pszenica Wheat | Fasola Bean | Burak Beet |
|------------------------|---------------------|----------------------|-------------------|----------------|---------------|
| Z_K | 0,209±0,013 | 0,901±0,008 | 0,512±0,026 | 0,309±0,019 | 1,485±0,055 |
| B (s ⁻¹) | 0,042±0,002 | 0,052±0,002 | 0,049±0,002 | 0,037±0,003 | 0,086±0,003 |
| Z_P | 0,072±0,004 | 0,067±0,003 | 0,113±0,006 | 0,077±0,003 | 0,225±0,008 |
| R^2 | 0,972±0,017 | 0,965±0,021 | 0,978±0,013 | 0,978±0,013 | 0,983±0,011 |

Z_K, Z_P – w kg wody·kg⁻¹ s.m. / in kg water kg⁻¹ d.m.



Rys. 3. Wykresy dopasowania do punktów pomiarowych zmiany zawartości wody w nasionach roślin uprawnych. Linia czarna – funkcja logistyczna, linia szara – równanie Chapmana

Fig. 3. Examples of graphs of fitting to the experimental data on the rate of water absorption by the seeds of crop plants. Black line – logistic curve, grey line – Chapman equation

Dzięki zastosowaniu funkcji logistycznej uzyskano parametry charakteryzujące proces pobierania wody wynikające z właściwości tej funkcji (tab.1). Opis matematyczny za pomocą równania Chapmana umożliwił również wyznaczenie stałych charakteryzujących właściwości dyfuzyjne i sorpcyjne, związane z oporami wnikania wody i jego objętością (tab.2, rys.3).

W oparciu o przebieg charakterystyk pobierania wody uzyskanych przez autorów pracy można stwierdzić, że najszybciej pobierają wodę ziarniaki buraka i rzodkiewki, a najwolniej fasoli i bobiku, co wynika z budowy okrywy nasiennej i składu chemicznego. Potwierdza to modelowanie krzywą logistyczną, dla której współczynniki szybkości pobierania wody MWR i końcowa zawartość wody Z_K , są najwyższe (tab. 1). Podobne wyniki uzyskano w przypadku opisu procesu pobierania wody za pomocą równania Chapmana, gdzie końcowa zawartość wody Z_K i współczynniki B były najwyższe dla nasion buraka i rzodkiewki, a najniższe dla fasoli i bobiku (tab. 2). Podobne zależności m.in. od początkowej zawartości wody w ziarniakach uzyskali Miano i in. (2015) poprzez badanie kinetyki hydratacji

nasion fasoli. Wykazano, że uwodnienie jest zależne od początkowej zawartości wody. Zjawisko zachodzi, gdy zmiana zawartości wody dotyczy przejścia od II do III fazy izotermi adsorpcji, czyli z II do III fazy pobierania wody (Miano i in. 2015).

WNIOSKI

1. Na podstawie oceny uzyskanych charakterystyk przeprowadzonych za pomocą opisu matematycznego pobieranie wody pozwoliło na identyfikację parametrów stosowanych w pracy modeli kinetyki absorpcji wody, a tym samym wyznaczenie istotnych cech sorpcyjnych badanych nasion.

2. Badanie kinetyki pobierania wody przez nasiona w III fazie jej pobierania zapewnia również obserwację kiełkowania nasion, co może mieć znaczenie w badaniach przemysłowego wykorzystania materiału siewnego i roślinnego w różnych procesach technologicznych.

3. Zastosowanie metody kapilarno-wagowej do badania pobierania wody przez nasiona roślin uprawnych umożliwiło rejestrację i analizę wszystkich trzech etapów jej pobierania wraz z początkiem procesu kiełkowania nasion.

PIŚMIENNICTWO

- Bello M., Tolaba M.P., Suarez C., 2004. Factors affecting water uptake of rice grain during soaking. *Food Sci. Tech.*, 37(8), 811-816.
- Ciemiewska A., 1978. Drogi wnikania wody do ziarniaków zbóż. *Przegląd Zbożowo-Młynarski*, 2, 15-16.
- Daoud A. Jankowski S. 1977. Prędkość wnikania wody do ziarna pszenicy – zależna od niektórych jego cech. *Przegląd Zbożowo-Młynarski*, 1, 12-15.
- Grzesik M., Janas R., Romanowska-Duda Z., 2011. Stymulacja wzrostu i procesów metabolicznych ślazuca pensylwańskiego (*Sida hermaphrodita* L. Rusby.) za pomocą hydrokondycjonowania nasion. *Problemy Inżynierii Rolniczej*, 4, 81-89.
- Grzesik M., Janas R., 2011. Wpływ hydrokondycjonowania na aktywność metaboliczną oraz kiełkowanie nasion i wschody siewek marchwi. *J. Res. Appl. Agric. Engng.*, 56(3), 127-132.
- Grzesiuk S., Kulka K., 1981. *Fizjologia i biochemia nasion*. PWRiL Warszawa.
- Horigane A.K., Takahashi H., Maruyama S., Ohtsubo K., Yoshida M., 2006. Water penetration into rice grains during soaking observed by gradient echo magnetic resonance imaging. *J. Cereal Sci.*, 44, 307-316.
- Horigane A.K., Suzuki K., Yoshida M., 2013. Moisture distribution of soaked rice grains observed by magnetic resonance imaging and physicochemical properties of cooked rice grains. *J. Cereal Sci.*, 57, 47-55.
- Kopcewicz J., Lewak S., 2002. *Fizjologia roślin*. Praca zbiorowa. PWN, Warszawa.
- Kornarzyński K., Pietruszewski S., Łacek R., 2002. Measurement of the water absorption rate in wheat grain. *Int. Agroph.*, 16, 33-36.
- Kornarzyński K., Pietruszewski S., 2000. Metody pobierania wody przez nasiona roślin uprawnych. *Inż. Roln.*, 4(15), 87-94.
- Lucas T., Le Ray D., Mariette F., 2007. Kinetics of water absorption and solute leaching during soaking of breakfast cereals. *J. Food Eng.*, 80, 377-384.

- Maskan M., 2001. Effect of maturation and processing on water uptake characteristic of wheat. *J. Food Eng.*, 47, 51-57.
- Miano A.C., Augusto P.E.D., 2015. From the sigmoidal to the downward concaveshape behavior during the hydration of grains: Effect of the initial moisture content on Adzukibean (*Vigna angularis*). *Food Bioprod. Process.*, 96, 43-51.
- Milthorpe F.L., Moorby J., 1979. Wstęp do fizjologii plonowania roślin. PWRiL, Warszawa, 1979, 138-140.
- Montanuci F.D., Perussello C.A, Matos Jorge L.E., Matos Jorge R.M., 2014. Experimental analysis and finite element simulation of the hydration process of barley grains. *J. Food Eng.*, 131, 44-49.
- Navarro D.A., Cerezo A.S., Stortz C.A., 2002. NMR spectroscopy and chemical studies of an arabinan-rich system from the endosperm of the seed of *Gleditsia triacanthos*. *Carbohydr. Res.*, 337, 255-263.
- Nawaz J., Hussain M., Jabbar A., Nadeem G.A., Sajid M., Ul Subtain M., Shabbir I., 2013. Seed priming a technique. *Int. J. Agric. Crop Sci.*, 6(20), 1373-1381
- Obendorf R.L., McInnis Ch.E., Horbowicz M., Keresztes I., Lahuta L.B., 2005. Molecular structure of lathyritol, a galactosylbornesitol form *Lathyrus odoratus* seeds, by NMR. *Carbohydr. Res.*, 340, 1441-1446.
- Paquet-Durand O., Zettel V., Kohlus R., Hitzmann B., 2015. Optimal design of experiments and measurements of the water sorption process of wheat grains using a modified Peleg model. *J. Food Eng.*, 165, 166-171.
- Reichert D., 2003. Solid-state NMR spectroscopy and its application in analytical chemistry. *Anal Bioanal. Chem.*, 376, 308-310.
- Resio A.C., Aguerre R.J., Suarez C., 2005. Analysis of simultaneous water absorption and water-starch reaction during soaking of amaranth grain. *J. Food Eng.*, 68, 265-270.
- Resio A.C., Aguerre R., Suarez C., 2003. Study of some factors affecting water absorption by amaranth grain during soaking. *J. Food Eng.*, 60, 391-396.
- Sharma M., Parton J., 2007. Height-diameter equations for boreal tree species in Ontario using a mixed-effects modeling approach. *Forest Ecol. Manag.*, 249, 187-198.
- Shittu T.A., Olaniyi M.B., Oyekanmi A.A., Okeleye K.A., 2012. Physical and Water Absorption Characteristics of Some Improved Rice Varieties. *Food Bioprocess Tech.*, 5, 298-309.
- Torres M., Frutos G., 1989. Analysis of germination curves of aged fennel seeds by mathematical models. *Environ. Exp. Bot.*, 29(3), 409-415.
- Torres M., Frutos G., 1990. Logistic function analysis of germination behaviour of aged fennel seeds. *Environ. Exp. Bot.*, 30(3), 383-390.
- Verma R.C., Prasad S., 1999. Kinetics of absorption of water by maize grains. *J. Food Eng.*, 39, 395-400.

DETERMINATION OF SELECTED FEATURES OF SEEDS
OF CROP PLANTS BY IDENTIFICATION OF PARAMETERS
OF MODELS OF WATER ABSORPTION KINETICS BY USE
OF LOGISTIC FUNCTION AND CHAPMAN EQUATION

Krzysztof Kornarzyński, Bożena Gładyszewska

Department of Physics, University of Life Sciences
Akademicka 13, 20-950 Lublin, Poland
e-mail: krzysztof.kornarzynski@up.lublin.pl

Abstract. The aim of this work was the modelling of the water absorption process for seeds of selected crop plants. A logistic curve and Chapman's equation were used for the mathematical description of the first and second phases of the process prior to germination. Parameters characterizing the kinetics of the process of the water absorption, resulting from the properties of these functions and related to important parameters of tested seeds were determined. The highest MWR coefficient (coefficient of the maximum water absorption rate at the inflection point of the logistic curve) was observed for radish seeds ($39.61 \cdot 10^{-3} \text{ kg H}_2\text{O kg}^{-1} \text{ d.m. h}^{-1}$) and beet seeds ($69.16 \cdot 10^{-3} \text{ kg H}_2\text{O kg}^{-1} \text{ d.m. h}^{-1}$), whereas the lowest MWR was obtained for broad bean seeds ($5.35 \cdot 10^{-3} \text{ kg H}_2\text{O kg}^{-1} \text{ d.m. h}^{-1}$) and bean seeds ($7.07 \cdot 10^{-3} \text{ kg H}_2\text{O kg}^{-1} \text{ d.m. h}^{-1}$).

Key words: seeds, water absorption rate, logistic function, Chapman equation