

## KIELKOWANIE NASION AMARANTUSA ODMIAN AZTEK I RAWA W RÓŻNYCH TEMPERATURACH

Agata Dziwulska-Hunek, Krzysztof Kornarzyński

Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie

**Streszczenie.** Amaranthus jest jedną z najstarszych roślin uprawnych na świecie, pochodzący z Ameryki Południowej, często nazywany zbożem XXI wieku. Czas jego wegetacji wynosi 160 dni. Temperatura optymalna wegetacji znajduje się w zakresie 26–28°C, wzrost i rozwój zachodzi w temperaturach rzędu od 16°C do 35°C. Pomiary kiełkowania nasion przeprowadzono w warunkach laboratoryjnych. Proces kiełkowania nasion amarantusa odmian Aztek i Rawa przeprowadzony został na szalkach Petriego, w komorze klimatycznej, w temperaturach: 10°, 12°, 15°, 20°, 25°, 35°, 45° i 55°C, bez dostępu światła. Każda próba liczyła po 100 nasion i doświadczenie (kiełkowanie) przeprowadzone zostało w pięciu powtórzeniach. Do opisu matematycznego kinetyki kiełkowania nasion użyto funkcję logistyczną w postaci:  $N_T = N_K [1 + \exp(\beta - Kt)]^{-1}$ . Kiełkowanie nasion amarantusa obu odmian, dla wszystkich rodzajów stymulacji i próbek kontrolnych było najwyższe w temperaturze ok. 20°C i ok. 42°C, a najniższe w temperaturze 10°C.

**Słowa kluczowe:** nasiona amarantusa, kiełkowanie, temperatura, model matematyczny

### WSTĘP

Amarantus znany w Polsce jako szarłat należy do rodziny *Amaranthaceae*, rodzaju *Amaranthus* [Szot 1999]. Pochodzi z Ameryki Południowej i nazywany jest coraz częściej zbożem XXI wieku [Nalborczyk i in. 1994, Szot 1999, Szumiało 2006]. Amaranthus jest wykorzystywany do produkcji artykułów spożywczych oraz pasz dla zwierząt. Z nasion otrzymuje się głównie mąkę, którą stosuje się jako dodatek do wyrobów piekarskich i cukierniczych. Wypieki z amarantusa charakteryzują się niską zawartością glutenu, dlatego mogą być zastosowane w diecie osób chorych na celiakię. Z amarantusa otrzymuje się również wysokowartościową paszę jako zielonkę, siano, susz i kiszonkę [Nalborczyk i in. 1994]. Nasiona amarantusa charakteryzuje wysoka zawartość białka, duża koncentracja tłuszczu, błonnika, cennych składników mineralnych i witamin z grupy A, B, C i E [Nalborczyk i in. 1994, Szumiało 2006].

---

Adres do korespondencji – Corresponding author: Agata Dziwulska-Hunek, Krzysztof Kornarzyński, Department of Physics, University of Life Sciences in Lublin, Akademicka 13, 20-950 Lublin, Poland, e-mail: agata.dziwulska-hunek@up.lublin.pl

Jednym z podstawowych czynników umożliwiającym kiełkowanie nasion jest temperatura otoczenia. Do opisu kiełkowania różnych gatunków nasion wyróżnia się temperaturę optymalną, minimalną i maksymalną, przy czym temperatura optymalna nie gwarantuje najwyższej zdolności kiełkowania [Gładyszewska 1998, Lityński 1982]. Nasiona amarantusa w glebie o temperaturze ok. 10°C kiełkują po 4–5 dniach, natomiast dla wzrostu roślin potrzebna jest wyższa temperatura. W przypadku obniżenia temperatury do 7°C ustaje wzrost roślin, a w temperaturze 3°C następuje ich uszkodzenie [Espitia 1992, Szot 1999].

Optymalna temperatura kiełkowania nasion amarantusa w warunkach laboratoryjnych wynosi 25°C [Nalborczyk 1995, Szot 1999]. W przypadku innych nasion, np. pomidorów według Gładyszewskiej i in. [2002] zdolność kiełkowania była najwyższa w temperaturze 20°C i 25°C, co wynika również z badań Podleśnego [1999] dla nasion łubinu białego.

W literaturze można spotkać analityczne (funkcja logistyczna, rozkład Rayleigha, rozkład Gaussa, równanie Verhulsta-Pearla) [Glaser 1975, Gładyszewska 1998, Pabis 1985] i symulacyjne (metoda Monte Carlo) [Gładyszewska 1998, Gładyszewska i Koper 2002b, Jazwiński i in. 1975, Roe 1982] modele kiełkowania nasion. Modele analityczne można używać w szerokim zakresie matematycznego opisu kiełkowania nasion. Zaslugują one na szczególną uwagę wszędzie tam, gdzie analizowany jest wpływ różnych czynników zewnętrznych na kinetykę procesu kiełkowania, np. w stymulacji światłem lasera He-Ne czy magnetycznej [Gładyszewska i in. 2001]. Torres i Frutos [1989] prowadzili badania kiełkowania nasion kopru w temp. 25°C, bez dostępu światła. Doświadczenie wykonano na płytkach Petriego, wyłożonych bibułą filtracyjną nawilżoną wodą destylowaną. Użyto do badań nasiona jednoroczne, trzyletnie i pięcioletnie. Otrzymane wyniki w postaci charakterystyk szybkości kiełkowania w funkcji czasu opracowano za pomocą trzech matematycznych modeli (jednocząstkowy, logistyczny i Gompertza) [Torres i Frutos 1990].

Celem przeprowadzonych badań było zbadanie kiełkowania nasion amarantusa odmiany Aztek i Rawa w różnych temperaturach. Do matematycznego opisu kiełkowania nasion zastosowano funkcję logistyczną [Torres i Frutos 1990, 1989].

## MATERIAŁ I METODY

Proces kiełkowania nasion amarantusa odmian Aztek i Rawa przeprowadzony został na szalkach Petriego, w komorze klimatycznej, w temperaturach: 10°, 12°, 15°, 20°, 25°, 35°, 45° i 55°C, bez dostępu światła. Każda próba liczyła po 100 nasion i doświadczenie przeprowadzone zostało w pięciu powtórzeniach.

Zastosowana w pracy funkcja logistyczna posiadała charakterystyczne punkty i współczynniki, dzięki którym można było porównać i opisać poszczególne charakterystyki:

$$N_T = N_K [1 + \exp(\beta - K t)]^{-1} \quad (1)$$

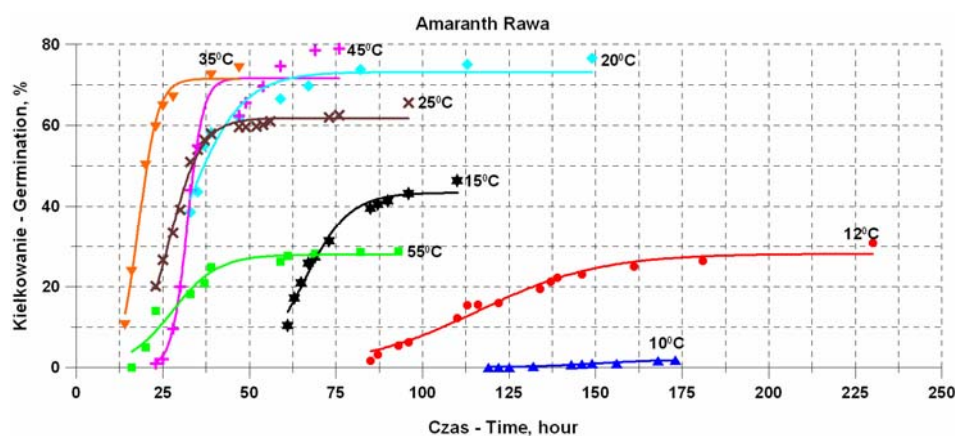
gdzie:  $N_T$  – liczba nasion, które wykiełkowały w czasie  $t$  (w %),  $N_K$  – uzyskana dzięki modelowaniu końcowa liczba wykiełkowanych nasion (zdolność kiełkowania w %),  $\beta$  i  $K$  – współczynniki,  $t$  – czas.

Dzięki zastosowaniu tej wersji krzywej logistycznej wyznaczyć można ważne parametry charakteryzujące proces kiełkowania:  $t_{pk}$  – czas uzyskania punktu przegięcia krzywej logistycznej ( $t_{pk} = \beta/K$ ),  $N_{\beta/K}$  – liczba nasion wykiełkowanych dla punktu przegięcia krzywej logistycznej,  $v_{max}$  – maksymalna szybkość kiełkowania dla punktu przegięcia krzywej logistycznej ( $v_{max} = N_K \times K/4$ ). Do opisu matematycznego wykorzystano program Grapher.

Z zależności (1) wynika, że w przypadku, gdy wyrażenie  $'1+\exp(\beta-Kt)'$   $\rightarrow 1$  (dąży do liczby jeden) to  $N_T \rightarrow N_K$ , czyli końcowej liczby wykiełkowanych nasion, gdy  $'\exp(\beta-Kt)'$   $\rightarrow 0$ . W ten sposób przebieg krzywej logistycznej będzie zależał głównie od zależności pomiędzy współczynnikami  $\beta$  i  $K$  oraz położenia punktu przegięcia krzywej. Należy pamiętać o tym, że krzywa logistyczna jest symetryczna względem swojego punktu przegięcia.

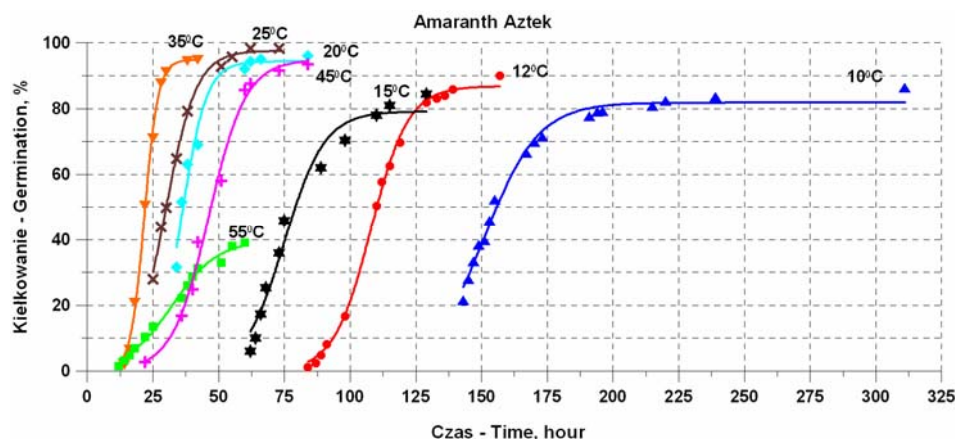
## WYNIKI BADAŃ

Na rysunkach 1 i 2 przedstawiono kiełkowanie nasion amarantusa odm. Rawa i Aztek w różnych temperaturach, gdzie punkty na wykresach są rzeczywistą liczbą wykiełkowanych nasion w danym czasie, uzyskaną z ich liczenia. Poszczególne krzywe są efektem dopasowania funkcji logistycznej do punktów pomiarowych za pomocą programu komputerowego.



Rys. 1. Kielkowanie nasion amarantusa odm. Rawa w różnych temperaturach  
Fig. 1. Germination of amaranth seeds cv. Rawa at various temperatures

Zależność maksymalnej szybkości kiełkowania nasion amarantusa  $v_{max}$ , uzyskanej dzięki modelowaniu, dla obu badanych odmian, w funkcji temperatury kiełkowania przedstawia rysunek 3. Na rysunku 4 przedstawiono zależność zdolności kiełkowania (końcowej liczby wykiełkowanych nasion) badanych nasion od temperatury kiełkowania.



Rys. 2. Kielkowanie nasion amarantusa odm. Aztek w różnych temperaturach  
 Fig. 2. Germination of amaranth seeds cv. Aztek at various temperatures

W tabelach 1 i 2 przedstawiono parametry charakteryzujące kiełkowanie nasion amarantusa odm. Rawa i Aztek uzyskane dzięki modelowaniu krzywą logistyczną. Tabela 3 zawiera dane doświadczalne zdolności kiełkowania nasion amarantusa kiełkujących w różnych temperaturach.

Tabela 1. Parametry charakteryzujące kiełkowanie nasion amarantusa odm. Rawa uzyskane dzięki modelowaniu krzywą logistyczną

Table 1. Parameters of seeds germination of amaranth cv. Rawa obtained by logistic curve modeling

Amarantus odmiany Rawa – Amaranth cv. Rawa							
$T_K$ °C	$N_K$ %	$\beta$	$K$ godz. <sup>-1</sup>	$t_{pk}$ godz.	$N_{\beta/K}$ %	$v_{max}$ % × godz. <sup>-1</sup>	$R^2$
10	1,88 ± 0,93	16,2 3 ± 6,34	0,108 ± 0,089	150,27	1	0,051	0,97 ± 0,02
12	28,13 ± 3,13	6,69 ± 2,54	0,058 ± 0,021	115,34	16	0,407	0,97 ± 0,01
15	43,37 ± 5,72	10,26 ± 4,17	0,156 ± 0,069	65,76	21	1,691	0,98 ± 0,01
20	73,15 ± 5,71	3,43 ± 0,45	0,122 ± 0,024	28,11	25	2,231	0,933 ± 0,002
25	61,77 ± 8,48	5,67 ± 1,46	0,213 ± 0,046	26,62	28	3,289	0,981 ± 0,003
35	71,49 ± 6,53	6,56 ± 2,52	0,363 ± 0,141	18,07	43	6,487	0,99 ± 0,01
45	72,89 ± 6,31	10,26 ± 3,95	0,406 ± 0,137	66,19	75	1,681	0,97 ± 0,02
55	27,89 ± 5,98	6,79 ± 4,28	0,262 ± 0,234	25,91	17	1,074	0,945 ± 0,014

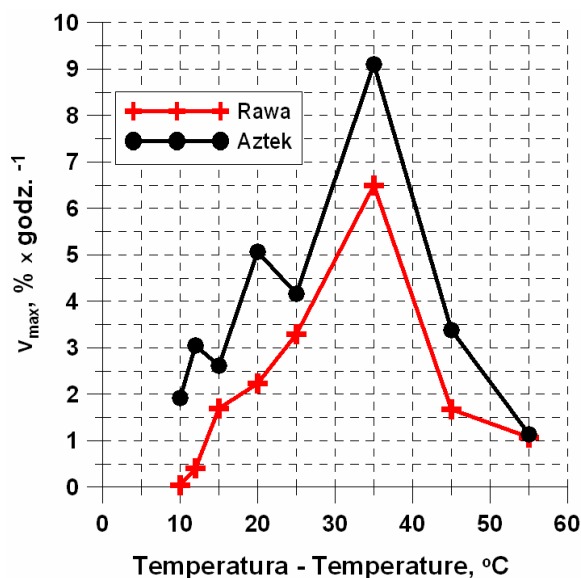
Gdzie:  $T_K$  – temperatura kiełkowania nasion – seed germination temperature

Tabela 2. Parametry charakteryzujące kiełkowanie nasion amarantusa odm. Aztek uzyskane dzięki modelowaniu krzywą logistyczną

Table 2. Parameters of seeds germination of amaranth cv. Aztek obtained by logistic curve modeling

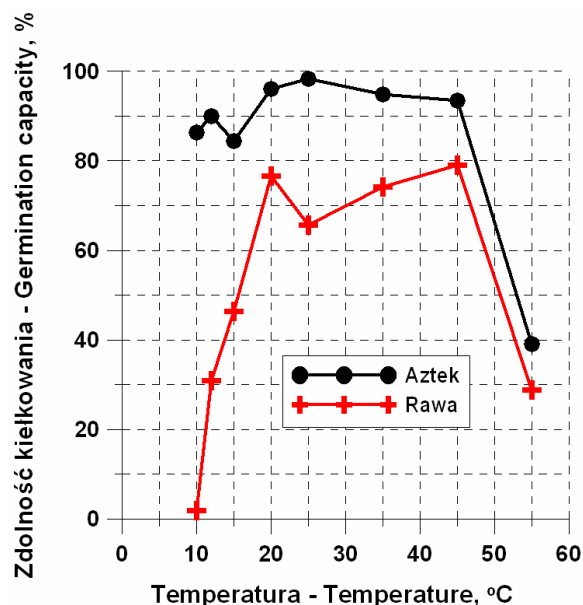
Amarantus odmiany Aztek – Amaranth cv. Aztek							
$T_K$ °C	$N_K$ %	$\beta$	$K$ godz. <sup>-1</sup>	$t_{pk}$ godz.	$N_{\beta/K}$ %	$v_{max}$ % × godz. <sup>-1</sup>	$R^2$
10	81,75 ± 11,08	14,72 ± 3,46	0,094 ± 0,025	156,59	54	1,921	0,991 ± 0,005
12	86,73 ± 10,12	15,22 ± 2,97	0,141 ± 0,057	107,94	50	3,057	0,99 ± 0,01
15	79,08 ± 2,96	9,89 ± 2,79	0,132 ± 0,044	74,92	46	2,609	0,97 ± 0,01
20	94,31 ± 2,09	7,72 ± 1,95	0,215 ± 0,035	35,91	50	5,069	0,977 ± 0,002
25	97,51 ± 1,57	5,08 ± 0,55	0,171 ± 0,021	29,71	50	4,168	0,992 ± 0,004
35	94,79 ± 2,15	8,35 ± 2,12	0,384 ± 0,072	21,74	51	9,099	0,994 ± 0,001
45	94,75 ± 3,14	6,60 ± 1,74	0,143 ± 0,044	46,15	52	3,387	0,995 ± 0,001
55	39,74 ± 11,31	3,71 ± 0,62	0,115 ± 0,019	32,26	18	1,142	0,98 ± 0,01

Gdzie:  $T_K$  – temperatura kiełkowania nasion – seed germination temperature



Rys. 3. Zależność maksymalnej szybkości kiełkowania nasion amarantusa obu badanych odmian, dla punktu przegięcia krzywej logistycznej, od temperatury kiełkowania

Fig. 3. Temperature dependence of maximum germination rate of amaranth seeds for inflexion points of logistic curve



Rys. 4. Zależność zdolności kiełkowania nasion amarantusa obu badanych odmian od temperatury kiełkowania

Fig. 4. Temperature dependence of germination capacity of amaranth of both investigated seeds

Tabela 3. Zdolność kiełkowania nasion amarantusa kiełkujących w różnych temperaturach  
Table 3. Germination capacity of amaranth seeds at various temperatures of germination

$T_K, ^\circ\text{C}$	Rawa, %	Aztek, %
10	$1,8 \pm 1,4$	$86,4 \pm 4,3$
12	$30,8 \pm 3,3$	$90,0 \pm 1,9$
15	$46,4 \pm 2,0$	$84,4 \pm 0,7$
20	$78,0 \pm 0,8$	$97,8 \pm 3,1$
25	$65,6 \pm 3,0$	$98,4 \pm 0,3$
35	$74,22 \pm 0,16$	$94,8 \pm 0,4$
45	$93,4 \pm 1,2$	$93,4 \pm 1,2$
55	$28,8 \pm 2,2$	$39,0 \pm 2,2$

W celu lepszego zobrazowania zależności zdolności kiełkowania nasion od temperatury na rysunku 4 przedstawione zostały dane z tabeli 3.

Nasiona amarantusa odm. Rawa kiełkowały najszybciej w temperaturze 35°C i 55°C, najwolniej w 10°C (rys. 1), uzyskując najwyższą zdolność kiełkowania w temperaturze 45°C – 98,4%, najniższą w 55°C – 39% (tab. 3). Najkrótszy czas uzyskania punktu przegięcia krzywej logistycznej  $t_{pk}$  (18,07 godz.) oraz największa wartość maksymalnej szybkości kiełkowania  $v_{max}$  ( $6,487 \text{ \%} \times \text{godz.}^{-1}$ ) wystąpiły dla temperatury 35°C (tab. 1).

Podobnie jak nasiona odm. Rawa, nasiona amarantusa odm. Aztek, kiełkowały najszybciej w temperaturze 35°C i 55°C, najwolniej w 10°C (rys. 2), uzyskując najwyższą zdolność kiełkowania w temperaturze 25°C – 93,4%, najniższą w 55°C – 39% (tab. 3). Najkrótszy czas uzyskania punktu przegięcia krzywej logistycznej  $t_{pk}$  (21,74 godz.) oraz największa wartość maksymalnej szybkości kiełkowania  $v_{max}$  (9,099 %×godz.<sup>-1</sup>) wystąpiły dla temperatury 35°C (tab. 2).

Różnice pomiędzy zdolnością kiełkowania nasion amarantusa obu odmian, a uzyskaną z modelu logistycznego, mieszczą się w większości w granicy błędu pomiarowego, co świadczy o skuteczności wybranego opisu (tab. 1, 2 i 3).

Temperatura kiełkowania miała większy wpływ na nasiona amarantusa odm. Rawa, gdzie pojawiły się dwie ‘optymalne’ temperatury kiełkowania, przy których zdolność kiełkowania była najwyższa – 20°C i 45°C, podczas gdy w temperaturach 10°C i 55°C zdolność kiełkowania nasion tej odmiany wyniosła odpowiednio ok. 2% i 29%. Nasiona amarantusa odm. Aztek osiągnęły najwyższą zdolność kiełkowania w temperaturze 25°C, natomiast w zakresie temperatur niskich 10–15°C była ona rzędu 84-90%, czyli dużo wyższa niż w przypadku odm. Rawa (tab. 3 i rys. 4).

## PODSUMOWANIE

Najwyższą zdolność kiełkowania nasiona amarantusa odm. Aztek uzyskały w zakresie temp. 20–25°C i dla ok. 42°C. W przypadku odm. Rawa najwyższa zdolność kiełkowania wystąpiła w temperaturach 20°C i ok. 42°C. Nasiona obu odmian najniższą zdolność kiełkowania uzyskały dla temperatur skrajnych 10°C i 55°C.

Na podstawie modelowania za pomocą funkcji logistycznej można stwierdzić, iż kinetyka kiełkowania nasion amarantusa obu badanych odmian, była najwyższa w temperaturze 35°C, najniższa w temperaturze 10°C i 55°C, co również potwierdza przebieg charakterystyk szybkości kiełkowania.

## PIŚMIENNICTWO

- Espitia E., 1992. Amaranth germoplasm development and agronomic in Mexico. Food Rev. Intern. 8, (1), 71–86.
- Glaser R., 1975. Wstęp do biofizyki. PZWL, Warszawa.
- Gładyszewska B., 1998. Ocena wpływu przedsewnej laserowej biostymulacji nasion pomidorów na proces ich kiełkowania. Rozpr. doktorska. AR Lublin.
- Gładyszewska B., Koper R., 2002a. Ocena wpływu przedsewnej laserowej biostymulacji nasion pomidorów na proces kiełkowania. Acta Agrophysica, 62, 5–14.
- Gładyszewska B., Koper R., 2002b. Zastosowanie modelowania matematycznego w ocenie żywotności nasion. Inżynieria Rolnicza, 7, 51–58.
- Gładyszewska B., Koper R., Drabarek L., Gładyszewski G., 2001. Analityczne modele procesu kiełkowania nasion. Inżynieria Rolnicza, 2, 57–61.
- Jazwiński J., Pabis S., Wieremiejczyk W., 1975. Symulacyjne metody badań niezawodności systemów technicznych. Materiały na „Szkołę Zimową -75”. Jaszowiec, 13–18 stycznia 1975, Katowice.

- Lityński M., 1982. Biologiczne podstawy nasiennictwa. PWN, Warszawa.
- Nalborczyk E., 1995. Biologia amarantusa oraz perspektywy jego uprawy i wykorzystania w Polsce. Nowe rośliny uprawne – Amaranthus. Wyd. SGGW, Warszawa, 5–20.
- Nalborczyk E., Wróblewska E., Marcinkowska B., 1994. Amaranthus – nowa roślina uprawna. Wyd. SGGW, Warszawa.
- Pabis S., 1985. Metodologia i metody nauk empirycznych. PWN, Warszawa.
- Podleśny J., 1999. Wpływ przedsewnej biostymulacji laserowej nasion na wzrost i rozwój łubinu białego w zróżnicowanych warunkach wilgotności i temperatury. Pamiętnik Puławski, 117, 61–81.
- Roe Byron P., 1992. Probabilistic and statistics in experimental physics. Springer-Verlag, New York.
- Szot B., 1999. Właściwości agrofizyczne amarantusa (*Amaranthus cruentus* L.). Acta Agrophysica 18, 7–73.
- Szumiło G., 2006. Amaranthus – cenne zboże Indian. Top Agrar Polska, 3, 148–150.
- Torres M., Frutos G., 1989. Analysis of germination curves of aged fennel seeds by mathematical model. Environmental and Experimental Botany, 29, 3, 409–415.
- Torres M., Frutos G., 1990. Logistic function analysis of germination behaviour of aged fennel seeds. Environm. Experim. Botany, 30, 3, 383–390.

#### GERMINATION OF AMARANTH SEEDS CV. AZTEK AND RAWA AT VARIOUS TEMPERATURES

**Abstract.** Amaranth is one of the oldest crop plants in the world, originating from South America and more and more frequently referred to as the cereal of the 21<sup>st</sup> Century. The period of amaranth vegetation is 160 days. The optimum temperature during vegetation is 26–28°C, and it grows and develops the best within the temperature range of 16°C to 35°C. In the laboratory experiment the germination capacity of seeds was determined. Amaranth seeds were sown on Petri dishes, at 100 seeds per dish in a climate – controlled chamber at temperatures of 10°C, 12°C, 15°C, 20°C, 25°C, 35°C, 45°C, 55°C, in total darkness. Parameters of seeds germination of amaranth cv. Aztek was obtained by modeling of logistic curve:  $N_T = N_K [1 + \exp(\beta - Kt)]^{-1}$ . Germination of amaranth seeds of both cultivars, for all the kinds of stimulation and for the control samples, was the highest at temperatures of ca. 20°C and ca. 42°C, and the lowest at 10°C.

**Key words:** seeds of amaranth, germination, temperature, mathematical model

Zaakceptowano do druku – Accepted for print: 5.02.2009