

카멜리나 (*Camelina sativa* Crtz.) 발아 적온 및 발아초기 뿌리생육 특성

박준성¹ · 최영인¹ · 김용휘² · 이상협³ · 김경남⁴ · 서미정⁵ · 김기준⁶ · 이금주^{1*}

¹충남대학교 농업생명과학대학 원예학과, ²세종대학교 생명과학대학 식품공학부, ³세종대학교 생명과학대학 바이오자원공학

⁴세종대학교 생명과학대학 분자생물학, ⁵전남대학교 농업생명과학대학 바이오에너지공학과, ⁶아시아종묘(주)

Optimum germination temperature and seedling root growth characteristics of *Camelina*

Joon Sung Park¹, Young In Choi¹, Augustine Yonghwi Kim², Sang Hyub Lee³, Kyung-Nam Kim⁴, Mi Chung Suh⁵, Gi-Jun Kim⁶, Geung-Joo Lee^{1*}

¹Department of Horticultural Science, Chungnam National University, Daejeon 305-764, Korea

²Department of Food Science & Technology, Sejong University, Seoul 143-747, Korea

³Department of Plant Bioresources, Seoul 143-747, Korea

⁴Department of Molecular Biology, Sejong University, Seoul 143-747, Korea

⁵Department of Bioenergy Science and Technology, Chonnam Nat'l University, Gwangju 500-757, Korea

⁶Breeding Institute, Asia Seed Co. Ltd., Icheon Gyeonggi 467-906, Korea

Received on 7 September 2013, revised on 12 September 2013, accepted on 13 September 2013

Abstract : A genus *Camelina* has been attracted as a promising oil crop, especially available in drought and marginal conditions. Due to more demands on arable land for bioenergy crops, price of agricultural products has been a challengeable issue. In that respect, development of *Camelina* crop with higher germination rate and germination energy can be a strategy to secure seedling establishment, nutrient uptake and long vegetative period. In order to be easily available in the field and laboratory conditions, *Camelina* seed needs to be optimized for its germination temperature. Germination temperature regime was in a range of 8 to 32°C initially, and consecutively narrowed down to 8 to 20°C. Based on the temperature range, *Camelina* germinated greater than 96% at 8-16°C in two weeks after sowing, but germination rate started to decrease at the higher than 24°C and was significantly low at higher than 32°C. In terms of rapid time to reach the maximum germination rate and greater germination energy, temperature ranged from 12 to 16°C was found to be desirable for *Camelina* germination. Although germination rate was greater at 16°C, lower temperature close to 12°C would be favored for the field conditions where greater root growth leading to healthier seedlings and better nutrient or water availability is considerably demanded.

Key words : Germination rate, Germination energy, Optimum germination temperature, Seedling growth

I. 서론

카멜리나(양구슬냉이; *Camelina sativa* Crtz.)는 유럽 및 북미에서 많이 재배되는 배추과 일년생 작물로 식용, 사료용 및 산업용으로 많이 활용되어 왔다(Pileram et al, 2007). 다른 유지 작물과 달리 건조 및 척박지 적응력이 우수한 것으로 알려져 있어 바이오연료 원료작물의 재배로

인한 농경지 부족과 농산물 가격 인상의 문제를 해결할 수 있는 장점을 가지고 있어 유채 또는 대두의 대체작물로 관심이 높아지고 있다(Moser, 2010).

카멜리나는 다른 종자 작물(예를 들어, 대두, 유채, 해바라기, 카놀라)에 비해 물, 농약 및 비료의 낮은 필요성, 짧은 성장 시기(85~100일), 현재 이용되고 있는 농장과의 호환성과 추운 날씨, 가뭄, 반 건조 조건이나 염분 토양에 대한 우수한 내성과 같은 경제적이고, 농업적으로 유용한 특성을 가지고 있다(Robinson, 1987; Moser, 2010). 또한,

*Corresponding author: Tel: +82-42-821-5734

E-mail address: gilee@cnu.ac.kr

종자로부터 나온 기름은 필수지방산과 오메가 3가 풍부하며, 인간의 소비를 위한 식품 및 비 식품 산업인 oleochemicals의 생산을 위한 재생 원료뿐 아니라 바이오 디젤의 대체 자원으로서 적합하다(Seehuber, 1984; Putnam et al., 1993; Zubr and Matzen, 1996). 카멜리나는 지질 함유량이 각각 종자의 35~45% 사이의 중량으로 포함되어 있는 만숙된 종자를 헥타르에서 336~2,240 kg을 얻을 수 있으며, 카멜리나 기름의 수확량은 헥타르에서 106~907리터로 계산되었다. 이것은 대두, 해바라기 오일보다 높지만 유채보다는 낮은 양이다. 성장 지역의 기후조건과 같은 요인뿐 아니라 작물에 적용되는 농자재의 양과 해충, 잡초와 질병의 존재도 그 원인이 된다(Moser, 2010).

포장조건에서 카멜리나는 초기 출현율, 개화율 및 종자 결실속도는 파종시기가 늦을수록 늦어지지만 종자의 성숙은 무관한 것으로 알려졌다(Pavlista et al., 2011). 한편 오일의 함량에는 큰 변화가 없지만 지방산의 조성 역시 파종시기에 따라 영향을 받아서 일찍 파종할수록 카멜리나의 대표적인 지방산인 C18:3 (linolenic acid)의 함량이 증가하는 것으로 보고되고 있다. 이는 결국 영양생장기간이 작물의 수량은 물론 지방산의 조성에 영향을 미칠 수 있다는 점을 시사해주고 있다. 따라서 발아에 필요한 온도가 낮을수록 카멜리나의 파종시기를 앞당길 수 있고 결국에는 영양생장기간이 길어짐에 따라 종자의 수량을 극대화할 수 있어 카멜리나로부터 생산되는 오일을 활용한 산업적 활용에 유리할 것으로 판단된다.

카멜리나를 작물로 재배하기 시작한 것은 화석연료를 대체하기 위한 유지작물에 대한 관심이 커지고, 기존의 겨울철 동계작물(예, 보리 또는 밀)과 돌려짓기에 적합한 작물을 탐색하면서 재배조건에 대한 필요성이 커지게 되면서 부터였다(Pileram et al., 2007). 북미 또는 유럽의 특정지역을 중심으로 카멜리나의 파종시기, 파종량 또는 파종방법 등에 관한 연구는 있었지만 광 또는 습도가 일정한 환경에서 온도조건을 달리한 연구는 매우 제한적이라고 볼 수 있다(Urbaniak et al., 2008; Pavlista et al., 2011). 따라서 카멜리나와 같이 우리나라에서 재배 경험이 없는 신규 유지작물의 재배를 위해서는 재배지역 및 파종시기에 대한 정보가 필요한 실정이고 이를 위해서는 우선 정확한 발아적온 범위를 파악할 필요가 있다고 하겠다. 본 연구 결과를 통하여 국내 또는 해외 특정지역의 기후 정보를 확보할 수 있다면 카멜리나의 파종시기 또는 재배 적합지역의 선

정이 가능할 것으로 기대된다.

II. 재료 및 방법

1. 온도에 따른 발아율 및 발아세 변화

2012년 미국 플로리다주에 위치한 Green Oil Solutions 회사에서 카멜리나(*Camelina sativa* Crtz.) 종자를 구입하여 4℃ 냉장고에 보관중인 종자를 실험에 사용하였다. 종자는 수선법으로 우량종자를 선별하여 100립씩 1.5 mL tube에 넣고 0.1% 베노람 용액 1 mL에 1시간동안 침지 처리하여 살균하였다. 필터페이퍼 2장을 동일한 농도의 베노람 용액에 적신 다음 90 mm 페트리디쉬에 깔고 그 위에 소독한 종자를 100립씩 치상하였다. 1차적으로 발아조건은 14시간 및 10시간 주기로 각각 광 및 암조건하에서 8, 16, 24, 32℃로 온도를 달리하여 각각 온도별 3반복의 페트리디쉬를 생육상에서 발아시켰다. 2차 발아실험에서는 1차에서 발아율이 높은 온도를 기준으로 온도 처리 범위를 축소하여 8, 12, 16, 20℃에서 발아율을 조사하여 발아율에 최적 온도를 결정하였다. 발아율은 치상한 후 2일 간격으로 14일간 유근이 2 mm 이상 신장된 개체와 떡잎이 나온 종자의 수를 조사하여 처리 일자별로 발아율(%) 곡선을 그려 최대 발아율을 결정하였고, 발아세(germination energy)는 치상 후 1주일이 지난 시간에서 온도별 발아율을 조사함으로써 결정하였다. 2일 간격의 조사가 끝난 후 손실된 수분 보충을 위해 각각 증류수 1 mL을 골고루 투여한 뒤 필터페이퍼에 흡수되지 않은 증류수는 마이크로피펫을 이용하여 제거하여 과습 조건을 피하고자 하였다.

2. 온도 및 발아소요 일수에 따른 발아 후 생육비교

종자 준비 및 치상은 위 종자발아 실험에서와 동일하게 준비하였다. 카멜리나의 발아에 적합한 온도 조건과 생육의 변화를 알아보기 위하여 생육상의 온도를 8, 12, 16, 20℃로 각각 준비하고, 14/10시간 광/암조건을 동일하게 유지하였다. 수분유지를 위해 필터페이퍼가 마르지 않도록 2일 간격으로 증류수를 공급하였고, 치상 후 2일 간격으로 발아율을 조사하였다. 발아율 조사는 유근이 2 mm 이상 신장된 것을 기준으로 하였다.

발아 이후 온도와 발아소요일수에 따른 생육의 차이를

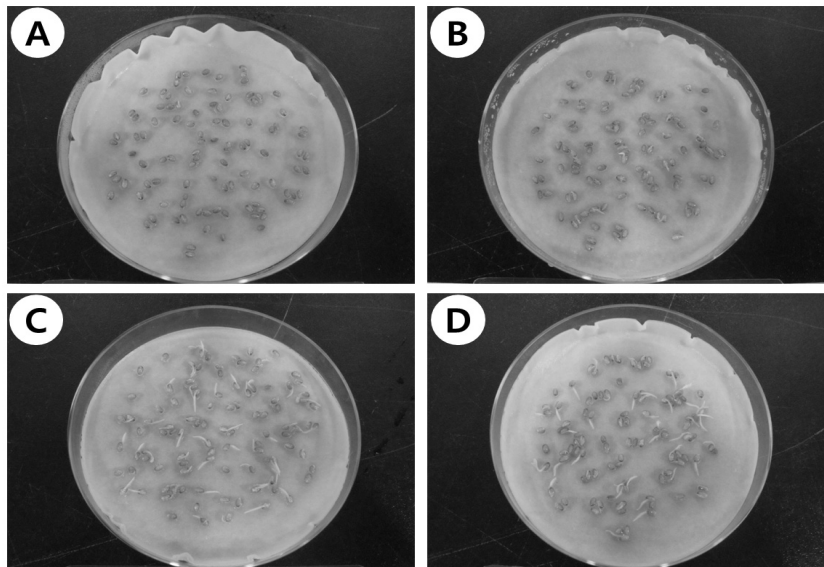


Fig. 1. Growth stage at two day after sowing: A, temperature 8°C at growth chamber; B, temperature 16°C; C, temperature 24°C; D, temperature 32°C.

알아보기 위해 각 처리온도에서 2, 4, 6일째에 발아된 종자 중 5개씩을 선발하여 생육을 지속시켰다. 선발기준은 당일 차에 발아한 종자들 중 가장 생육이 왕성한 것을 그 기준으로 하였다. 수분유지를 위해 여과지가 마르지 않도록 4일 간격으로 증류수를 공급하였고, 치상 후 2일 간격으로 사진을 찍어 기록하였다.

3. 통계분석

처리온도별 발아율은 1, 2차 실험 모두 각 온도별 3반복으로 실시하였다. 얻어진 발아 종자의 수를 이용하여 카멜리나 발아 최적온도를 결정하기 위하여 파종기간 동안 발아율의 변화를 그래프로 나타내었다. 각 온도별 평균 발아율 및 발아세의 비교는 표준오차를 통하여 통계적 유의정도를 알아보았다. 또한 각각의 온도에서 초기 싹생묘의 생육에 미치는 영향을 알아보기 위해 각각의 처리온도에서 2일 간격으로 발아한 5개 싹생묘를 분리하여 평균 유근 및 배축의 길이와 표준오차를 조사함으로써 입모율을 향상시키기 위한 온도조건을 알아보려고 하였다.

III. 결과 및 고찰

발아율(%)은 파종 후 2주동안 2일간격으로 발아된 종자의 수를 개수함으로써 결정하였다. 파종된 종자는 3반복

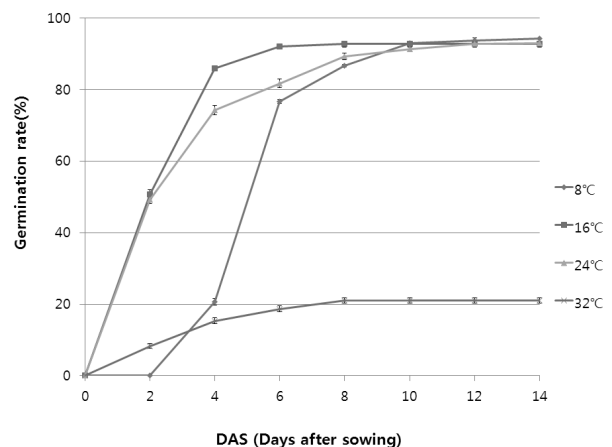


Fig. 2. Changes of seed germination rate (%) by temperature (8, 16, 24, 32°C). Bars indicate standard error.

평균값과 표준오차를 계산하여 파종 후 일자별 발아된 종자수를 백분율로 하여 그래프에 나타내었다(Fig. 2). 카멜리나 발아 온도에 대한 정보가 결여되어 있는 상태에서 1차 실험에서는 8~32°C까지 온도범위를 설정하여 실시한 결과 치상 후 2일 재부터 16~24°C 범위에서 50% 이상의 높은 발아율을 보이기 시작하였다(Fig. 1). 8~24°C 온도범위에서 공통적으로 치상 후 2주안에 90% 이상의 높은 발아율을 보였으나, 32°C 최고 처리온도에서는 최대 발아종자가 21%에 불과하였다. 한편 높은 발아율을 나타낸 온도범위였던 8, 16, 24°C 처리구에서는 최대발아율에 이르는 시간이 각각 14일(94%), 8일(92.7%), 그리고 12일(92.7%)로 1

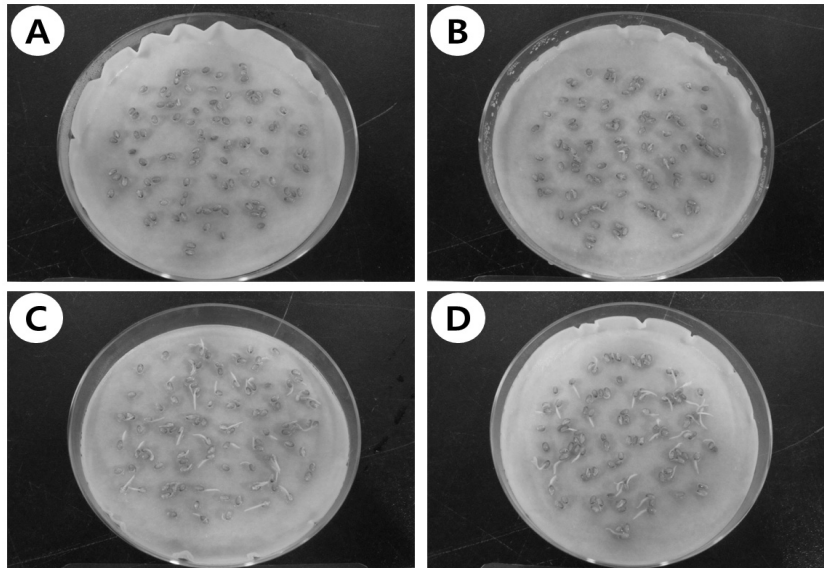


Fig. 3. Growth stage at two day after sowing: A, temperature 8°C at growth chamber; B, temperature 12°C; C, temperature 16°C; D, temperature 20°C.

6°C 처리조건에서 최단시간에 최대 발아율에 도달하였다.

발아세는 발아기간 중 특정시간에서의 발아율(%)로 나타낼 수 있는데 1차 발아처리 온도에서 처리기간의 약 절반에 해당하는 6일 째 발아율을 조사한 결과 8, 16, 24, 32°C 처리온도에서 76.7, 92.0, 81.7, 18.7%를 보여 16°C가 카멜리나 발아에 적당한 온도라는 사실을 알 수 있었다. Fig. 2에서 보여주는 것처럼 카멜리나는 파종 후 2주 정도 소요되면 8~24°C 온도범위에서는 유사한 최고 발아율을 나타냈지만 발아세가 높은 16°C 전후가 적절한 발아온도일 것이라고 추정된다. 발아세가 높은 온도조건에서는 초기 유근 및 지상부의 생육이 상대적으로 월등하기 때문에 초기의 불안하고 불량한 환경조건(토양온도 또는 수분 등)에 조우하였을 때 포장에서의 높은 입모율(seedling establishment rate)을 보장할 수 있어 발아적온을 결정하는데 중요한 지표가 될 수 있을 것이다(Steppuhn et al., 2010).

같은 방법으로 2차 발아실험에서는 1차에서 얻어진 16°C 전 후로 8, 12, 16, 20°C 온도범위를 더 축소하여 좀 더 정확한 발아 적온범위를 결정하고자 실시하였다. 1차에서와 동일한 실험방법으로 실시하여 파종 후 일자별 발아된 종자수를 백분율로 표시하여 그래프에 나타내었다(Fig. 3). 종자 치상 후 2일 째부터 16°C 및 20°C 처리조건에서 각각 52% 및 55%의 발아율을 보이기 시작하였다(Fig. 3). 2주간의 발아조사 결과 1차실험에서보다 더 높은 발아율을 나타내어 8, 12, 16 및 20°C 각각의 온도조건에서 95.7,

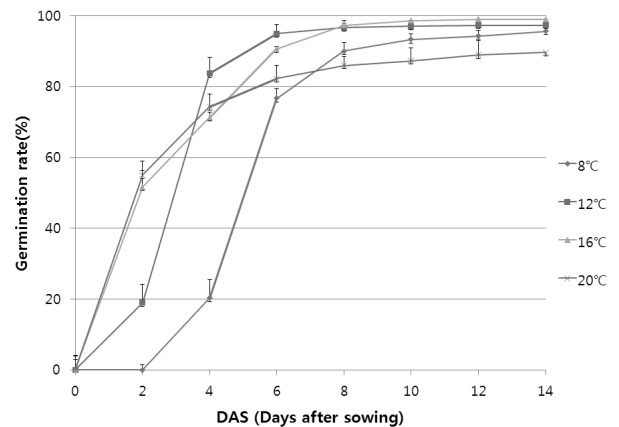


Fig. 4. Changes of seed germination rate (%) by temperature (8, 12, 16, 20°C). Bars indicate standard error..

97.3, 99.0 그리고 89.7%의 발아율을 나타내어 8~16°C 온도범위에서 높은 발아율을 나타내었다. 반면에 최고 발아율에 걸리는 시간은 8°C에서 14일(95.7%)일이 걸렸지만, 12°C와 16°C 온도에서는 유사하게 8~10일정도가 소요되는 것으로 보아 발아적온 범위는 12~16°C가 타당할 것으로 사료된다. 발아세를 알아보기 위하여 종자 치상 후 6일 째 발아율을 알아본 결과 8, 12, 16 및 20°C 각각의 발아율이 76.7, 95.0, 90.7 및 82.3%를 보여서 1차실험에서 얻어진 결과와 비교해볼 때 오히려 16°C보다는 12°C에서 더 높은 발아세를 나타내었다.

실생묘들의 발아 후 초기 지하부 생육에 미치는 온도의

Table 1. Average length of hypocotyl and radicle (mm) of five seedlings separated on the germination days after sowing and measured on the last day of the experiment (14 days after sowing).

Temperature (°C)	Germination days after sowing		
	2	4	6
8°C	0	21.0±1.3	14.8±1.4
12°C	23.8±1.0 ¹⁾	23.0±1.4	8.6±0.7
16°C	22.8±1.8	13.6±1.5	9.2±0.5
20°C	19.0±1.5	8.0±0.7	4.8±0.2

¹⁾Mean±standard error

영향을 알아보기 위하여 치상 후 2, 4, 6일 째 날에 각각의 온도조건에서 발아한 종자 5개씩을 따로 분리하여 발아조사 마지막 날인 14일 째에 하배축과 유근의 길이를 조사하였다(Table 1). 2일째에 발아한 종자일수록 생육기간이 6일 째 발아한 종자보다 상대적으로 길기 때문에 같은 온도에서는 일찍 발아한 종자의 지하부 생육이 더 양호하게 나타났다. 2주간의 지하부 길이생육을 비교한 결과 약 24 mm 정도가 최고 길이로 나타났다. 반면 발아적으로 추정되는 12 및 16°C에서 2일 째에는 각각 23.8 및 22.8 mm로 유사한 결과를 보였으나 4일 째 발아한 종자의 지하부 생육을 비교한 결과 각각 23.0 mm와 13.6 mm로 12°C에서 발아한 종자의 지하부 길이가 월등히 높게 관찰되었다. 본 연구결과는 앞서 발표된 옥수수 종자의 경우와 같이 발아시 높은 온도에 노출된 종자는 호흡률의 증가와 glutamic acid decarboxylase activity(GADA)의 감소로 뿌리의 생육에 부정적인 영향을 준 것으로 판단된다(Woodstock and Grabe, 1967; Nwauzoma and Moses, 2013). 일반적으로 종자의 발아는 저장 중 종자의 호흡량에 많은 영향을 받는 것으로 보고되고 있다(Woodstock and Grabe, 1967; Dahal et al., 1996). 종자의 호흡은 저장 중 수분의 함량이 높고 온도가 높을수록 높게 나타나므로 호흡량이 높은 조건에서 저장된 종자는 상대적으로 발아율이 낮고, 따라서 저장 양분의 고갈로 초기 종자의 생육을 떨어뜨리는 요인이 될 수 있다(Woodstock and Grabe, 1967; Booth and Sowa, 2001). 몇 가지 유지작물에서 파종시기는 작물의 생육, 수량 및 오일의 품질에 영향을 미치는 것으로 알려졌고 그 원인으로 토양수분의 이용률, 생육 온도, 개화 및 작물의 성숙 시기에 영향을 주기 때문인 것으로 보고되고 있다(Adamsen and Coffelt, 2005; Chen et al., 2005)

IV. 결론

본 연구는 카멜리나의 발아 적온범위와 발아 후 실생묘의 초기 생육에 미치는 온도를 알아보기 위하여 실시하였다. 카멜리나는 8~16°C 온도범위에서 파종 후 2주일 안에 96% 이상의 높은 발아율을 나타내었지만 최고발아율에 걸리는 시간이 짧고 발아세가 높은 12~16°C가 발아 적정온도로 여겨진다. 한편 24°C 이상에서는 점차 발아율이 감소하기 시작하다가 30°C 이상의 고온에서는 발아율이 저조한 것으로 나타났다. 실험실 조건에서는 낮은 12°C에서보다 16°C에서 더 높은 발아율과 발아세를 보여 더 유리할 것으로 판단되었지만 높은 입모율을 고려한 포장조건에서는 호흡률이 낮아 발아에 필요한 저장양분의 공급이 우수하고 초기 지하부의 생육이 우수하였던 12°C가 더 유리할 것으로 보인다. 특히 건조지역 또는 생육환경이 불량한 조건에서는 발아세가 뛰어나고 초기 지하부 신장율이 높아 강건한 초세 및 양분 흡수율이 양호한 특성을 보이는 유전자원의 선발이 필요하다고 하겠다(Booth and Sowa, 2001; Steppuhn et al., 2010).

감사의 글

본 연구는 농림수산식품부 생명산업기술개발사업(project no. 312033-5)의 지원에 의해 이루어졌습니다.

참고 문헌

- Adamsen FJ, Coffelt TA. 2005. Planting date effects on flowering, seed yield, and oil content of rape and crambe cultivars. *Industrial Crops Production* 21:293-307.
- Booth DT, Sowa S. 2001. Respiration in dormant and non-dormant bitterbrush seeds. *Journal of Arid Environments*

- 48:35-39.
- Chen CC, Jackson G, Neill K, Wichman D, Johnson G, Johnson D. 2005. Determining the feasibility of early seeding canola in the Northern Great Plains. *Agronomy Journal* 97:1252-1262.
- Dahal P, Kim NS, Bradford KJ. 1996. Respiration and germination rates of tomato seeds at suboptimal temperatures and reduced water potentials. *Journal of Experimental Botany* 47:941-947.
- Moser BR. 2010. Camelina (*Camelina sativa* L.) oil as a biofuels feedstock: Golden opportunity or false hope? *Lipid Technology* 22(12):270-273.
- Nwauzoma AB, Moses K. 2013. Factors affecting seedling emergence and dry matter characteristics in *Musa balbisiana* Colla. ISRN Botany Article ID 582581:1-5.
- Pavlista AD, Isbell TA, Baltensperger DD, Hergert GW. 2011. Planting date and development of spring-seeded irrigated canola, brown mustard and camelina. *Industrial Crops and Products* 33:451-456.
- Pileram AL, Sands DC, Boss D, Dale N, Wichman D, Lamb P, Lu C, Barrows R, Kirkpatrick M, Thompson B, Johnson DL. 2007. *Camelina sativa*, a Montana omega-3 and fuel crop. In: Janick, J., Whipkey, A. (Eds.), *Issues in New Crops and New Uses*. ASHS Press, Alexandria, VA, pp. 129-131.
- Putnam DH, Budin JT, Field LA, Breene WM. 1993. Camelina: A promising low-input oilseed. In: Janick, J., Simon, J.E. (Eds.), *New crops*. Wiley, N.Y.:314-322.
- Robinson RG. 1987. Camelina: a useful research crop and a potential oilseed crop. *Minnesota Agricultural Experiment Station Bulletin* 579 (item no. AD-SB-3275).
- Seehuber R. 1984. Genotypic variation for yield- and quality-traits in poppy and false flax. *Fette-Seifen-Anstrichmittel* 86:177-180.
- Steppuhn H, Falk KC, Zhou R. 2010. Emergence, height, grain yield and oil content of camelina and canola grown in saline media. *Canadian Journal of Soil Science* 90:151-164.
- Urbaniak SD, Caldwell CD, Zheljzakov VD, Lada R, Luan L. 2008. The effect of seeding rate, seeding date and seeder type on the performance of *Camelina sativa* L. in the Maritime Provinces of Canada. *Canadian Journal of Plant Science* 88:501-508.
- Woodstock LW, Grabe DF. 1967. Relationships between seed respiration during imbibition and subsequent seedling growth in *Zea Mays* L. *Plant Physiology* 42:1071-1076.
- Zubr J, Matzen R. 1996. Mixed vegetable and diesel oil as fuel. *Proceedings of the 9th European Bioenergy Conference, Copenhagen, Denmark, 24-27 June 1996*, Oxford: Pergamon/Elsevier Science:1644-1663.