

온도증가에 따른 흑색토마토 ‘헤이’ 품종 과실의 모양 및 열과 발생률의 변화

문두경* · 김소희 · 조명환 · 유인호 · 류희룡 · 이응호
농촌진흥청 국립원예특작과학원

(2015년 2월 17일 접수; 2015년 7월 28일 수정; 2015년 7월 31일 수락)

Changes of Fruit Cracking Percentage and Fruit Shape of ‘Hei’ Black Tomato with Increased Temperature

Doo-Gyung Moon*, So-Hee Kim, Myeng-Whan Cho, In-Ho Yu,
Hee-Ryong Ryu, and Eung-Ho Lee

National Institute of Horticultural and Herbal Science, RDA, 281 Ayeonno, Jeju 690-150, Korea

(Received February 17, 2015; Revised July 28, 2015; Accepted July 31, 2015)

ABSTRACT

‘Hei’ (*Lycopersicon Esculentum* Mill.) Black Tomato examined changes in fruit shape, fruit weight and cracking percentage with increasing temperature in high-rise tomato greenhouse during long-term cultivation in summer season. Fruit diameter is greater than fruit length from the first cluster to the ninth cluster. However, fruit length is longer than fruit diameter from the tenth cluster to the fifteenth cluster. Fruit shape index (L/D) is below 100% from the first cluster to the ninth cluster and above 100% from the tenth cluster to the fifteenth cluster. Fruit weight was decreased during temperature increasing in greenhouse. However, fruit cracking percentage was increased to temperature increasing during cultivation period. Thus, fruit shape, fruit weight and fruit cracking of ‘Hei’ black tomato were influenced by increasing of temperature in greenhouse during long-term cultivation.

Key words: Flower cluster, Fruit shape index, Fruit weight

I. 서 론

대부분의 토마토는 시설 재배되고 있으며 토마토의 줄기 유인, 온도관리 편리성 및 생산성 향상을 위하여 토마토 재배용 연동 플라스틱 온실을 개발하여 보급되고 있다. 토마토 전용 하우스의 규격은 폭 7.0m, 측고 4.5m, 동고 6.5m이며, 중방은 작물하중과 장치하중을 견딜 수 있도록 트러스 구조로 설계되어 있다. 또한 토마토 전용 하우스는 일반하우스에 비해 여름철

하우스 내부의 온도가 5°C 정도 낮다고 보고되어 있다(Yu *et al.*, 2012). 지구온난화로 인한 계속되는 기후변화는 기후변동 폭이 커져 작물의 생산성 등의 결과를 예측하기 어려우며, 점차 증가하는 기온은 하우스 내부의 온도를 상승시켜, 현재의 재배조건은 작물의 생산성과 안전성에 영향을 줄 것으로 판단된다(Lee *et al.*, 2008; Shim *et al.*, 2008).

우리나라의 평균기온은 1912~2005년 사이 평균기온이 약 1.5°C 상승하였으며(Kwon, 2005; Shim *et*



* Corresponding Author : Doo-Gyung Moon
(dymoon@korea.kr)

al., 2008), IPCC 3차보고서(2001)에서는 20세기에 평균기온이 0.6°C 상승하였으며, 21세기 말까지 이산화 탄소 등 온실기체의 농도 변화에 의해 1.4~5.8°C 상승할 것으로 예측하고 있다. 온도 상승은 작물의 생장과 밀접한 관계가 있으며 작물의 종류 및 품종에 따라 생육, 수량 및 품질 등에 영향을 미친다(Lee *et al.*, 2008; Kwon *et al.*, 2009). 일반적으로 작물의 생육시기 기온이 1°C 정도 상승하게 되면, 작물의 생육은 약 10% 정도 빨라져, 가용성 고형물 함량과 같은 과실의 품질이 우수해진다고 알려져 있다(Lee *et al.*, 2008; Shim *et al.*, 2008). 그러나 생육적정온도 이상의 온도는 호흡량을 증가시키고 소형과의 비율을 높여서 수확량 감소를 초래한다고 하였다(Lee *et al.*, 2008; Kang *et al.*, 2012).

토마토는 우리나라에서 과채류의 대표작물로 최근 Lycopene, Carotene 및 Vitamin 함유량이 많은 건강식품으로 알려짐에 따라 1인당 소비량이 2011년 7.6kg로 꾸준히 증가하는 추세이다(Kang *et al.*, 2007; Seo *et al.*, 2013). 토마토는 일반토마토, 방울토마토, 흑색토마토 등 품종이 다양하고, 품종에 따라 크기, 맛, 색깔 등이 각각 다르다. 특히 흑색토마토는 세포의 산화를 막아 각종 암 외에 성인병 예방에 효과가 우수한 Lycopene 함량이 일반토마토에 비해 많고, '헤이' 품종의 과실은 크기가 균일하고 등글며 진한 검붉은색(흑색)의 광택을 띤다고 하였다(Seo *et al.*, 2013). 그러나 흑색토마토는 과일의 표피가 얇아 수확 후기에 시설 내 온도가 상승하거나 직사광선에 과실이 노출되면 열과 현상이 발생하거나(Seo *et al.*, 2013) 혹은 착과 및 착색 등이 불량해질 수 있다고 하였다. 토마토 열과의 발생 원인은 온도, 수분 및 습도 등의 재배적 조건, 식물체 내적요인, 유전적 특성 등 다양하게 연구가 이루어지고 있다(Yamamoto *et al.*, 1990; Ohta *et al.*, 1993; Choi *et al.*, 1999). 따라서 고품질의 토마토를 안정적으로 생산하기 위해서는 시설재배 환경이 품종에 맞게 적절하게 조성되어야 하는데, 국내에는 아직 흑색토마토 '헤이' 품종의 시설재배 방법 및 적정 재배환경에 대한 연구가 거의 없는 실정이다.

따라서 본 연구는 고추고 토마토 전용 하우스에서 흑색토마토 '헤이' 품종을 여름 재배 시 온도증가에 따른 과실 모양의 변화와 열과 발생률을 파악하여 '헤이' 품종의 여름재배가 적합한지 구명하고자 수행하였다.

II. 재료 및 방법

2.1. 재배관리

본 연구의 재료인 흑색토마토는 국립원예특작과학원 시설원예시험장(부산) 고추고 토마토 전용하우스에서 재배되고 있는 '헤이'(Lycopersicon Esculentum Mill.)를 사용하였다. 2013년 2월 25일 암면배지(슬라브: 90×15×7.5cm, 큐브: 10×10×6cm)에 1베드 당 57주를 3반복씩 정식하였다. 재배는 15단까지 1줄기로 유인하였고 측지는 제거하였다. 배양액은 토마토 비순환식 PBG 배양액(EC 1.2~1.5, pH 5.8~6.0)을 일사량 제어법에 의해 일사량이 기준보다 높을 경우 관수량을 20% 증가(10min→12min)시키고, 비가 오거나 흐린 날은 관수량을 10% 감소(10min→9min)시켜 자동공급장치(NMC PRO IRRIGATION, NETA-FIM)로 공급하였다. 양액은 일출 1시간 30분 후부터 일몰 1시간 30분 전까지 공급하였다. 시험기간 내 시설하우스 대기 온도는 지면으로부터 2m 높이에 온습도센서(S-TMS-M008, Onset, USA)를 설치하여 10분 간격으로 매일 측정하여 평균하였다. '헤이' 과실은 제1화방(4월 10일)부터 제15화방(8월 12일)까지 착과시켰다. 착과제는 토마토톤을 150배 희석하여 각 화방당 꽃잎이 3~5개 피었을 때 꽃잎이 젖을 정도로 분무 처리하였고, 화방당 4~5개 과실을 남기고 적과하였다.

2.2. 과실의 모양

온도증가에 따른 과형의 변화를 조사하기 위하여 베드 당 건전한 5주(총 15주)를 선택한 뒤, 7일 간격으로 화방별로 과실을 수확하여 과고, 과중 및 과형지수(과고/과폭×100)를 버니어캘리퍼스로 이용하여 조사하였다. 수확 당시 과실들은 흑색으로 착색된 부분이 과실 전체 표면적의 80% 이상 차지한 과실이였다.

2.3. 열과 발생률

수확한 과실은 정상과와 열과로 분리하였고 열과는 어깨부분에서 갈라지는 동심원상 열과와 세로로 갈라지는 방사상 열과 등으로 기준하였다. 과실은 육안으로 판별하여 정상과와 열과로 나누어 전체 수확량 중 무게를 측정하여 열과 발생률(열과 무게/전체 무게×100)을 구하였다.

III. 결과 및 고찰

3.1. 과실의 모양

토마토 재배 시 온도 상승은 과실의 소형과 비율을 증가시키고, 대형과는 감소하므로(Lee *et al.*, 2008; Kang *et al.*, 2012), 지구온난화로 인한 온도상승은 과형에 미치는 영향이 크다고 알려져 있다(Sawhney and Dabba, 1978; Ali and Kelly, 1993; Shim *et al.*, 2008). 고축고 토마토 전용 하우스에서 흑색토마토 '헤이'의 장기 여름 재배 시 온도 증가에 따른 과고와 과폭의 변화를 화방별로 살펴보면(Fig. 1), 제1화방부터 제9화방까지는 과고에 비해 과폭이 높았지만, 그 차이는 감소하기 시작하여 제10화방부터 제15화방에 이르러서는 오히려 과폭에 비해 과고가 높았다. 과형지수 또한 제1화방부터 제9화방까지는 87.3~99.8% 정도로 초기 화방은 과폭이 과고보다 높았으나, 제10화방부터 제15화방까지는 101.6~105.1% 정도로 후기

화방은 과고가 과폭보다 높은 경향을 나타내었다(Fig. 1B). 한편 과형지수는 제1화방부터 제15화방까지 꾸준히 상승하였으며 제8, 9화방은 각각 99.8, 99.6%로 과고와 과폭의 비율이 거의 비슷하여 둥근 형태의 '헤이' 과실을 수확할 수 있었다. 과형지수가 100% 이하인 과실은 4월(제1화방)부터 7월(제9화방)까지 수확되었는데, 생장기간 동안의 하우스 내 평균기온은 17.4~23.4°C 정도였고, 과형지수가 100% 이상인 과실의 수확기간은 8월로 생장기간 동안의 하우스 내 평균기온은 29.2±0.2°C 정도(Fig. 2)로, 화방이 자람에 따라 고온기로 갈수록 과고가 증가하는 경향을 보였다. 또한, 4월(제1화방)에서 7월(제9화방)까지 야간 평균 온도 14.8±0.4°C~24.7±0.2°C에서 8월 야간 평균 온도 26.1±0.2°C로 상승하였고, 그 결과 과형이 변화되었다고 생각한다. 토마토(Sawhney and Dabba, 1978; Lohar and Peat, 1998) 및 고추(Ali and Kelly, 1993)의 과실의 모양은 개화기의 온도에 의해서 영향을 받

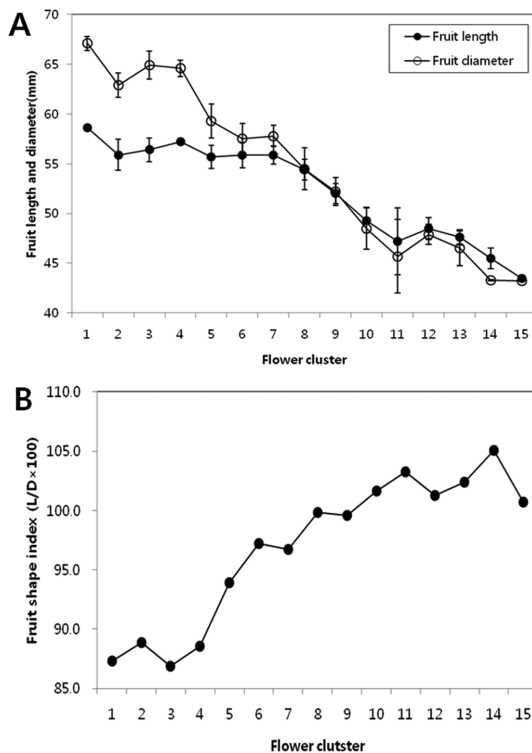


Fig. 1. Changes of 'fruit length and diameter' (A) and 'fruit shape index (fruit length/fruit diameter × 100)' (B) during 'Hei' black tomato fruit growth in plastic film greenhouse. Vertical bars represent standard error from which harvest fruit per cluster were selected for each determination.

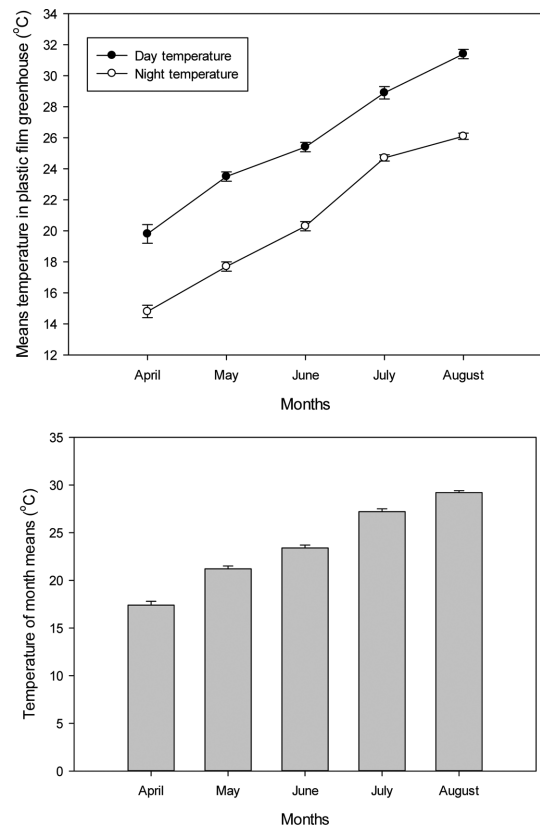


Fig. 2. Change of means temperature in plastic film greenhouse during 'Hei' black tomato fruit growth. Vertical bars represent standard error from ambient conditions.

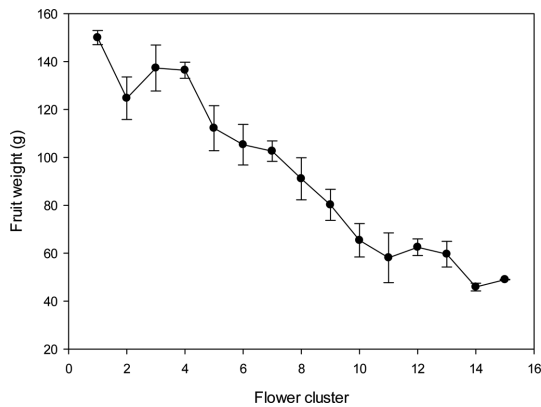


Fig. 3. Change of fruit weight during 'Hei' black tomato fruit growth in plastic film greenhouse. Vertical bars represent standard error from which harvest fruit per cluster were selected for each determination.

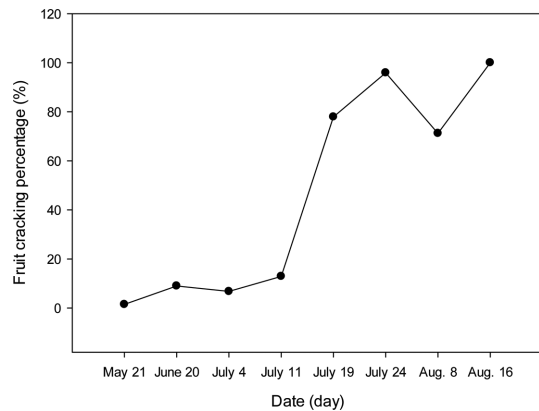


Fig. 4. Change of fruit cracking percentage during 'Hei' black tomato fruit growth in plastic film greenhouse. Fruit cracking percentage is calculated to fruit cracking weight/total harvest fruit weight × 100.

는다고 하였다. 따라서 8월 야간온도는 개화 시 자실(자방)에 영향을 주어 과실의 모양이 변화되었다고 판단된다.

온도증가에 따른 과중의 변화를 화방별로 나타낸 결과(Fig. 3), 제1화방의 평균 과중은 150.0g 정도로 '헤이'의 평균 과중 127.9g(Seo *et al.*, 2013)보다 무거웠으나, 제8화방부터 과중 100.0g 이하로 낮아져 제14화방에서는 45.9g으로 모든 화방 중 가장 낮게 나타났다. 한편 8월에는 하우스 내 평균 온도가 주간 31.4±0.3°C, 야간 26.1±0.2°C(Fig. 2)로 토마토 생육에 가장 적당한 낮 온도 25~27°C, 밤 온도 17°C 정도(Kang *et al.*, 2006) 보다 높아 관리하는데 부적합한 환경으로 생육이 불리하여 많은 꽃들이 수정이 되지 않았으며(자료 미제시) 과실의 크기 또한 소형이었다(Fig. 3). 이는 여름 재배 시 하우스 내 급격한 온도 상승은 토마토 과실의 결실과 발달을 억제하여 대형과보다 소형과가 증가하였기 때문(Lohar and Peat, 1998; Lee *et al.*, 2008; Kwon *et al.*, 2009)인 것으로 생각된다. 또한 야간 온도의 상승은 토마토 과실의 무게가 감소하였다는 보고와 유사하였다(Kang *et al.*, 2012).

3.2. 열과

수확 시 상품과와 열과를 분리하여 5월 21일부터 총 수확량에 대한 열과발생률을 조사하였다(Fig. 4). 제1화방부터 제3화방까지의 가용성 고형물 함량은 4.5~4.8%Bx 정도였고, 제4화방부터 제15화방까지는

5.0~5.9%Bx 정도로 화방별로 가용성 고형물 함량의 차이는 거의 없었다(자료 미제시). 그러나 열과 발생률은 5월 21일부터 7월 19일까지의 경우 12.9% 정도였던 반면 7월 24일에는 77.9%로 열과 발생이 급격히 증가하였으며 마지막 시기인 8월 16일에는 100% 열과가 발생하였으며(Fig. 4), 열과 조사기간 중 열과 발생이 적었던 6월의 평균기온은 23.4°C인 반면 열과 발생이 많았던 7월과 8월에는 각각 27.2°C, 29.2°C 정도인 것을 보아(Fig. 2), 열과 발생은 고온과 밀접한 관련이 있는 것으로 생각되었다. 압면배지의 FDR (Frequency Domain Reflectometry)로 측정된 수분함량은 재배기간 동안 일정하였다(자료 미제시). 배지의 수분함량 편차가 높으면 배지의 수분에 의해서 열과 발생률이 높을 것으로 예측되나(Yamamoto *et al.*, 1990; Ohta *et al.*, 1993; Choi *et al.*, 1999; Kang *et al.*, 2007), 본 연구에서는 배지 수분 함량은 재배기간 동안 차이가 없었고 기온의 차이는 컸다(Fig. 2). 다만 화방이 높아질수록 높은 화방에 양·수분 공급량이 부족하여 소형과 및 열과가 많아졌을 가능성이 있기에, 앞으로 장기 토마토 재배시 높은 화방에 양분 및 수분 공급 방법에 대해서 연구가 필요하다고 생각되었다.

이상의 결과를 종합해보면, 흑색토마토를 장기재배(제10화방 이후)할 경우 여름철 재배온도가 토마토의 재배 적정 온도보다 높아지면 열과 발생률은 높아지고 과실의 무게는 감소되는 경향이 있었기 때문에, 고축고 하우스에서 흑색 토마토 '헤이' 장기재배 시에는 여름철 온도가 상승하는 7월부터 과실을 수확하는 방

법을 지양해야 하며, 과실의 수확은 최소한 6월까지 마무리하는 재배 방법을 검토해야 한다고 생각되었다.

적 요

흑색토마토 ‘헤이’ 품종을 고추고 토마토 전용하우스에서 장기재배 시 우수한 토마토 생산을 위해 온도증가에 따른 과실 모양의 변화, 과일의 무게, 열과 발생률을 조사하였다. 제1화방부터 제9화방까지 과고에 비해 과폭이 큰 형태였고, 제10화방부터 제15화방까지는 과폭에 비해 과고가 길어져 과실의 모양이 변하였다. 과형지수도 제1화방부터 제9화방까지 100% 이하였으나 제10화방부터 제15화방까지 100% 이상이었다. 화방별 평균과중은 초기과실 $150 \pm 2.9\text{g}$ 에 비해 하우스 내 온도가 높아질수록 $40 \pm 6.2\text{g}$ 으로 가벼워져 소형과 생산이 높아졌다. 열과발생률 또한 초기재배에 비해 많아져 마지막 조사시 100% 열과가 발생하였다. 이와 같은 결과로 여름철 장기 재배 시 고추고 토마토 전용하우스 내 온도는 상승하여 과실의 모양이 변하고 과중이 감소하며 열과 발생률이 증가하는 등 흑색토마토 ‘헤이’의 과실에 영향을 주는 것으로 나타났다.

감사의 글

본 논문은 농촌진흥청 공동연구사업(과제번호: PJ00883101)의 지원에 의해 이루어진 것임.

REFERENCES

- Ali, A. M., and W. C. Kelly, 1993: Effect of pre-anthesis temperature on the size and shape of sweet pepper (*Capsicum annuum* L.) fruit. *Scientia Horticulturae* **54**, 97-105.
- Choi, Y. H., H. C. Rhee, G. B. Kweon, J. H. Lee, D. K. Park, and J. K. Kwon, 1999: Effects of soil moisture, night temperature, humidity and harvesting interval on cracking fruit of cherry tomato. *Journal of the Korean Society for Horticultural Science* **40**(2), 169-173. (In Korean with English abstract)
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), 2001: Special report on emissions scenarios (SRES)-climate change 2001: impacts, adaptation and vulnerability. IPCC.
- Kang, K. Y., H. C. Lee, and Y. H. Choi, 2006: *Tomato physiology and cultivation*. Horticultural Research Institute. Protected Horticultural Experimental Station. 83p. (In Korean)
- Kang, N. J., M. W. Cho, and Y. H. Choi, 2007: Effects of deficit irrigation on the reduction of green shoulder fruits in fresh tomato. *Journal of Bio-Environment Control* **16**(3), 186-193.
- Kang, Y. L., J. K. Kwon, K. S. Park, K. L. Choi, M. Y. No, M. H. Cho, D. Y. Kim, and N. J. Kang, 2012: Changes in tomato growth and productivity under different night air temperature. *Journal of Agriculture and Life Science* **46**(6), 25-31.
- Kwon, J. K., M. W. Cho, N. J. Kang, Y. I. Kang, K. S. Park, and J. H. Lee, 2009: Effects of high performance greenhouse films on growth and fruit quality of tomato. *Journal of Bio-Environment Control* **18**(3), 232-237.
- Kwon, W. T., 2005: Current Status and Perspectives of Climate Change Sciences. *Asia-Pacific Journal of Atmospheric Sciences* **41**(2-1), 325-336.
- Lee, I. B., S. B. Kang, and J. M. Park, 2008: Effect of elevated carbon dioxide concentration and temperature on yield and fruit characteristics of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *Korean Journal of Environmental Agriculture* **27**(4), 428-434. (In Korean with English abstract)
- Lohar, D. P., and W. E. Peat, 1998: Floral characteristics of heat-tolerance and heat-sensitive tomato cultivars at high temperature. *Scientia Horticulturae* **73**, 53-60.
- Ohta, K., N. Ito, T. Hosoki, K. Endo, and O. Kajikawa, 1993: Influence of the nutrient solution concentrations on cracking of cherry tomato fruit grown hypoponically. *Journal of the Japanese Society for Horticultural Science* **62**, 407-409.
- Sawhney, V. K., and D. H. Dabba, 1978: Gibberellic acid induced multilocular fruit in tomato and the role of locule number and seed number in fruit size. *Canadian Journal of Botany* **56**, 2831-2835.
- Seo, J. B., G. H. Shin, M. H. Jang, Y. S. Lee, H. J. Jung, B. K. Yoon, and K. J. Choi, 2013: Breeding of black tomato ‘Hei’ for protected cultivation. *Korean Journal of Horticultural Science and Technology* **31**(6), 833-836. (In Korean with English abstract)
- Shim, K. M., G. Y. Kim, H. Ch. Jeong, and J. T. Lee, 2008: Adaptation and assessment of the impacts of global warming on agricultural environment in Korea. *Journal of Bio-Environment Control* **17**(1), 78-81.
- Yamamoto, T., M. Kudo, and S. Watanabe, 1990: Fruit cracking and characteristics of fruit thickening in cherry tomatoes. *J. Japan. Soc. Hort. Sci.* **59**, 325-326.
- Yu, I. H., E. H. Lee, M. W. Cho, H. R. Ryu, and Y. C. Kim, 2012: Development of multi-span plastic greenhouse for tomato cultivation. *Journal of Bio-Environment Control* **21**(4), 428-436. (In Korean with English abstract)