



퀴노아의 품질특성 및 생리활성에 대한 로스팅 온도의 영향

진민근 · 전아영 · 권지현 · 김나은 · 김영화*
경성대학교 식품응용공학부

Effects of Roasting Temperature on Quality Characteristics and Biological Activity of Quinoa

Mingeun Jin, Ahyeong Jeon, Jihyun Kwon, Naeun Kim, Younghwa Kim*
Department of Food Science and Biotechnology, Kyungsoong University

Abstract

The present study aimed to evaluate the effects of roasting temperature on the quality characteristics and biological activity of quinoa. Quinoa was roasted at 160, 200, and 220°C for 20 min. The lightness (L^*) of quinoa decreased, however, the redness (a^*) increased as the roasting temperature increased. The yellowness (b^*) was the highest at 160°C and decreased at 200 and 220°C. The highest contents of total polyphenol, flavonoid, and quercetin were observed at 220°C, the highest roasting temperature. The highest radical scavenging activities of 2,2'-azino-bis (3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid) (73.65%) and α, α -diphenyl- β -picrylhydrazyl free radicals (47.82%) were found in roasted quinoa at 220°C. The α -glucosidase activity was inhibited by 62.13% at this temperature. The roasted quinoa at 220°C also showed a significant cytoprotective effect against oxidative stress in HepG2 cells. These results could be useful in the development of food products using quinoa.

Key Words : Quinoa, roasting temperature, antioxidant, quercetin, hepatoprotective effect

1. 서 론

식품에서 로스팅(roasting)은 열을 가하여 조직감, 색도, 향미 등의 특성을 향상시키는 공정을 말한다(Jeong et al. 2016). 로스팅 과정은 필수 지방산인 리놀레산과 칼륨, 나트륨, 칼슘 등과 같은 각종 미네랄의 함량을 증가시키며, 지방질의 산패를 억제한다고 알려져 있다(Lee et al. 2019; Ahmed et al. 2020). 로스팅은 식품에서 Maillard reaction과 caramel화 반응을 야기하여 maltol, pyranzine 및 furfural 유도체 등의 비효소적 갈색화 반응물을 생성하고 커피 및 참깨 등에서는 향기성분의 발생을 증가시켜 기호성을 증진시킨다고 알려져 있다(Baik & Ko 1996; Moon & Cho 1999). 게다가 Patrignani et al. (2016)의 연구에 의하면 Maillard reaction 최종 단계에서 생성되는 멜라노이딘은 항산화 활성이 증가하고 혈압을 낮추는 효과가 있는 것으로 보고되어 있다.

퀴노아(*Chenopodium quinoa* Willd)는 명아주과의 작물로 남아메리카가 원산지인 1년생 초본이다. 퀴노아는 남아메리카 안데스 산맥에서 재배되며 이 지역의 주요 식량자원으로, 환경 적응력이 뛰어난 작물로 알려져 있어 식량 부족을 해

결할 수 있는 곡물로 관심이 증가하고 있다(INIA & FAO 2015; Sim 2019). 퀴노아는 쌀, 호밀, 수수 등 보다 필수 아미노산인 트립토판의 함량이 높으며, 퀴노아에 함유되어 있는 quercetin은 *in vitro* 연구에서 세포 사멸유도, 히스타민 억제 및 안지오텐신 전환 효소의 억제 등의 다양한 생물학적 효과가 있는 것으로 보고되어 있다(Formica & Regelson 1995; Comai et al. 2007). 이처럼 영양학적 가치가 뛰어난 퀴노아는 시리얼, 쿠키, 빵, 비스킷 등과 같은 제품에 많이 사용되고 있으며 수요도 증가하는 추세이다(Navruz & Sanlier 2016). 뿐만 아니라, 퀴노아를 원료로 사용하여 오븐에 구운 제품은 원재료에 비하여 항산화 능력이 높아진다고 알려져 있다(Carciochi et al. 2016). Jeong & Sim(2020)의 연구에 따르면 로스팅을 거친 퀴노아는 찌거나 삶은 퀴노아에 비해 총 식이섬유, 포도당, 나트륨 등의 함량이 높다고 보고하였다. 그러나 국내산 퀴노아의 로스팅에 의한 기능성 성분 및 생리활성 변화에 대한 정보는 미비한 실정이기에 본 연구에서 국내산 퀴노아의 로스팅에 의한 온도별 다양한 생리활성물질 함량과 항산화 활성의 변화에 대해 연구하고자 하였다.

*Corresponding author: Younghwa Kim, Department of Food Science and Biotechnology, Kyungsoong University, 309 Suyeong-ro, Nam-gu, Busan, 48434, Republic of Korea Tel: +82-51-663-4652 Fax: +82-51-622-4986 E-mail: younghwakim@ks.ac.kr

II. 연구내용 및 방법

1. 실험 재료 및 시약

본 실험에서 사용된 퀴노아는 강원도 홍천의 재배 농가에서 구입하여 사용하였다. 퀴노아는 증류수를 이용하여 수세하여 건조한 후 4°C에서 냉장 보관하여 실험에 사용하였다. Folin-Ciocalteu reagent, *tert*-butyl hydroperoxide (*t*-BHP), potassium persulfate, catechin, quercetin, 2,2'-azino-bis(3-ethylbenzothiazoline-6-sulphonic acid (ABTS), trolox, 1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl (DPPH), dimethyl sulfoxide (DMSO)는 Sigma사(Sigma Chemical Co., St Louis, MO, USA)에서 구매하였으며, Santa Cruz사(Santa Cruz Biotechnology Inc., Dallas, TX, USA)에서 gallic acid를 구입하였다. Dulbecco's modified Eagle's medium (DMEM), penicillin-streptomycin, fetal bovine serum (FBS)은 Thermo Fisher사(Thermo Fisher Scientific Inc., Waltham, MA, USA)에서 구입하여 실험에 사용하였다.

2. 퀴노아의 로스팅 및 추출물 제조

수세 후 건조된 퀴노아는 10 g을 취해 160, 200, 220°C의 3가지 온도에서 20분간 로스팅 하였다. 퀴노아의 로스팅은 로스팅기(MK-300, JC Company, Seoul, Korea)를 사용하였고, 로스팅 후 실온에서 30분간 방냉하여 분쇄한 뒤 실험에 사용하였다. 추출물 제조를 위해 분쇄한 퀴노아 시료 2 g을 취해 50배 부피의 methanol을 가한 뒤 교반기를 이용하여 25°C에서 150 rpm으로 16시간 동안 추출하였다. 추출한 시료는 필터지(Advantec NO. 2, Tokyo, Japan)를 사용하여 여과 후 회전 감압농축기(EYELA N-1000, Rikakikai Co., Tokyo, Japan)를 사용하여 잔사를 얻었다. 추출물 잔사는 DMSO에 용해하여 -20°C에 보관하여 실험에 사용하였다.

3. 색도 측정

퀴노아의 색도는 색차계(Chromameter CR-300, Minolta Co., Osaka, Japan)를 이용하여 표준색도를 $Y=92.0$, $x=0.3137$, $y=0.3194$ 로 맞추어 사용하였다. L (lightness)값은 명도를, a (redness)값은 적색도, b (yellowness)값은 황색도를 나타내며, 모든 시료는 3회 이상 측정하였다. 또한 총색차(ΔE)는 다음 공식을 이용하여 구하였다.

$$\Delta E = \sqrt{\Delta L^2 + \Delta a^2 + \Delta b^2}$$

4. 총 폴리페놀 함량 측정

온도별 로스팅 퀴노아의 총 폴리페놀 함량은 Folin & Denis(1912)의 방법을 변형하여 실험하였다. 로스팅 된 퀴노아 추출물 50 μ L와 2% NaHCO₃ 500 μ L를 첨가한 후 50% Folin-Ciocalteu 시약 50 μ L를 충분히 혼합하여 96 well plate에 200 μ L를 옮겨 ELISA reader (Thermo Scientific

Ltd, Lafayette, CO, USA)를 이용하여 측정하였다. 시료의 총 폴리페놀의 함량은 표준품으로 gallic acid를 사용하여 계산하였으며, mg GAE (gallic acid equivalent)/100 g로 나타내었다.

5. 총 플라보노이드 함량 측정

Zhishen et al. (1999)의 방법에 따라 총 플라보노이드 함량을 측정하였다. 증류수 1,250 μ L과 시료 추출물 250 μ L를 가하고, 5% NaNO₂ 75 μ L를 넣은 후 진탕하여 6분간 암소에 방치 후 10% AlCl₃·6H₂O 150 μ L를 혼합한 후 5분간 암소에 방치 후 1 M NaOH 1 mL를 혼합하여 510 nm에서 흡광도를 측정하였다. 총 플라보노이드의 함량은 표준품으로 catechin을 사용하여 mg CE (catechin equivalent)/100 g으로 나타내었다.

6. ABTS 라디칼 소거능 측정

Re et al.(1999)의 실험방법을 변형하여 ABTS 라디칼 소거능을 측정하였다. 7.4 mM ABTS에 2.6 mM potassium persulfate를 첨가한 후 상온, 암소에서 12시간 동안 반응시켜 radical을 형성하고, 735 nm에서 흡광도가 1.000±0.1이 되도록 증류수를 사용하여 희석하였다. 희석된 ABTS 용액 0.5 mL에 추출물 25 μ L를 e-tube에 첨가 한 후 30분간 암소에서 반응시킨 시료 200 μ L씩 96 well plate에 옮긴 후 735 nm에서 흡광도를 측정하였다.

$$\text{ABTS 라디칼 소거능 활성(\%)} = (A_0 - A) / A_0 \times 100$$

A₀: 시료가 첨가되지 않은 반응용액의 흡광도

A: 시료가 첨가된 반응용액의 흡광도

7. DPPH 라디칼 소거능 측정

Blois(1958)의 방법을 이용하여 DPPH 라디칼에 대한 전자공여능을 측정하였다. 온도별 추출물 25 μ L에 0.2 mM 용액 500 μ L를 혼합 후 암소에서 30분간 방치시킨 후 520 nm에서 ELISA reader기를 이용하여 흡광도를 측정하였다.

$$\text{DPPH 라디칼 소거능 활성(\%)} = (A_0 - A) / A_0 \times 100$$

A₀: 시료가 첨가되지 않은 반응용액의 흡광도

A: 시료가 첨가된 반응용액의 흡광도

8. 환원력

Oyaizu(1986)의 방법으로 로스팅 된 퀴노아의 환원력을 측정하였다. 시료 125 μ L에 1% potassium ferricyanide와 200 mM sodium phosphatebuffer (pH 6.6)를 각각 125 μ L씩 첨가한 후 50°C에서 20분간 반응시키고 10% trichloroacetic acid 125 μ L를 혼합하였다. 10,000 rpm에서 원심분리 후 상등액 250 μ L에 distilled water 250 μ L와 0.1% ferric chloride 50 μ L를 더하여 진탕시킨 후 ELISA reader로 700 nm에서

흡광도를 측정하였다. 실험에 사용된 시료의 환원력은 mg GAE (gallic acid equivalent)/100 g로 나타내었다.

9. Alpha-glucosidase 억제능 측정

퀴노아의 alpha-glucosidase 억제능을 측정하기 위해 Ha et al.(2012)의 방법을 변형하여 진행하였다. 퀴노아 추출물 40 μ L를 96 well에 0.2 U/mL alpha-glucosidase 80 μ L를 혼합한 후 incubator에서 37°C로 10분간 반응시킨 후 1.5 mM p-nitrophenyl- α -D-glucopyranoside (pNPG) 80 μ L를 가하여 37°C에서 20분간 incubation시켰다. 반응 종료를 위해 Na₂CO₃ 80 μ L를 첨가한 후 405 nm에서 흡광도를 측정하였다. 양성 대조군으로 1 mg/mL 농도의 acarbose를 사용하였으며, alpha-glucosidase 억제능은 아래와 같이 계산하였다.

$$\text{Inhibition rate (\%)} = \{1 - (\text{ABS}_{\text{sample}} - \text{ABS}_{\text{blank}}) / \text{ABS}_{\text{control}}\} \times 100$$

ABS_{sample}: 시료 첨가구의 흡광도

ABS_{blank}: 시료 무 첨가구의 흡광도

ABS_{control}: 시료 양성대조군 흡광도

10. Quercetin 함량 분석

Quercetin의 분석은 Shin et al.(2016)의 방법을 변형하여 측정하였다. 온도별로 로스팅 된 퀴노아 2 g을 삼각플라스크에 담은 후 80% methanol 25 mL를 넣어 35°C에서 30분간 sonication하고 추출물을 10분간 3,500 rpm에서 원심 분리 후 0.45 μ m syringe filter로 여과하여 HPLC (Hitachi 5000 Chromaster, Hitachi Ltd., Tokyo, Japan)로 분석하였다. 분석에 이용된 HPLC 칼럼은 YMC-Pack ODS AM (250 mm \times 4.6 mm, 5 μ m)을 이용하였다. 이동상 A의 용매조성은 water:o-phosphoric acid (99.5:0.5, v/v)이고 이동상 B의 용매조성은 acetonitrile:water:o-phosphoric acid (50:49.5:0.5, v/v)이다. 분석하는 0, 5, 18, 28분 동안 이동상 B의 비율을 10, 82, 10, 10%의 비율로 흘려주었다. 유속은 1.0 mL/min 이고 UV 파장 225 nm에서 검출하였다.

11. 세포 배양

ATCC (American Type Culture Collection, CL173, Manassas, VA, USA)에서 분양 받은 HepG2 세포를 실험에 사용하였다. 세포는 DMEM에 1% penicillin과 10%의 FBS를 첨가하여 사용하였으며, 37°C하에 5% CO₂ incubator에서 2일 간격으로 배지를 교체하며 배양하였다.

12. 세포 독성 및 세포 보호효과 측정

실험에 사용된 HepG2 세포는 96 well plate에 well당 2 \times 10⁴개씩 seeding하여 incubator에서 18시간 가량 배양 후 FBS가 혼합되지 않은 DMEM 배지에 퀴노아 추출물과 t-BHP를 희석하여 200 μ L씩 분주한 후 6시간 동안 처리하였다. 시료에 의한 세포독성과 산화적 스트레스에 의한 세포의

생존율은 3-(4,5-dimethylthiazol-2-yl)-2,5-diphenyltetrazolium bromide (MTT) assay를 실시하여 확인하였다. MTT assay는 각 well에 4 mg/mL로 희석된 MTT 시약을 20 μ L씩 분주하여 2시간 동안 배양하고, 이때 형성된 formazan은 DMSO에 녹여 ELISA reader로 550 nm에서 흡광도를 측정하였다(Cheon et al. 2019).

13. 통계분석

본 연구결과는 모두 3회 이상 실험한 결과이며, 결과 값은 평균 \pm 표준편차로 표시하였다. 연구 결과의 통계 분석은 SAS 9.4 (SAS Institute Inc., Cary, NC, USA)의 분산분석 (ANOVA)을 이용하여 시료 간의 차이 유무를 알아보았으며, Duncan's multiple range test로 p<0.05 수준에서 유의성을 검정하였다. 또한, 상관관계는 SPSS 통계프로그램 (Statistical Package for the Social Science, Ver. 25.0, SPSS Inc., Chicago, IL, USA)을 사용하여 Pearson's correlation을 구하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 로스팅 온도에 따른 퀴노아의 색도 변화

로스팅에 의한 퀴노아의 선행 연구를 참고하여 본 연구에서는 160-220°C에서 로스팅을 실시하였고, 온도에 따른 퀴노아의 품질특성과 생리활성에 대한 영향을 알아보려고 하였다(Goh & Lee 2017). 식품의 색상은 소비자의 식품 소비와 관련된 중요한 요소 중 하나라고 알려져 있다(Kowalski et al. 2016). 본 연구에서 로스팅 온도에 따른 퀴노아의 색 변화를 알기 위해 헨터 색차계로 명도(L), 적색도(a) 및 황색도(b)를 나타내었으며, 총색차를 구하여 <Table 1>에 나타내었다. 명도를 나타내는 L값의 경우, 생것에서 가장 높게 측정되었으며 로스팅 온도가 상승할수록 유의적으로 감소하였다. 적색도를 나타내는 a값은 로스팅의 온도가 증가할수록 적색도가 상승하는 것을 확인할 수 있었다. 황색도를 나타내는 b값의 경우 160°C에서 가장 높은 값을 보였으며, 온도가 높아질수록 값이 낮아지며 220°C에서는 생것과 유의적으로 차이가 없는 것을 확인할 수 있었다. 또한 생것과 로스팅 된 시료의 총색차(delta E)의 경우는 160°C와 200°C는 유의적인 차이가 없었으며, 220°C에서는 유의적인 차이가 있는 것을 확인할 수 있었다. Bolek & Ozdemir(2017)에 의하면 커피를 로스팅 하였을 때 L값이 감소하는 결과를 보였으며, a값이 증가한다고 보고되어 있다. 또한 Berk et al. (2019)의 연구에 의하면 참깨를 로스팅 하였을 때 b값의 경우 180°C에서 값이 가장 높은 것으로 확인하였으며, 로스팅 온도가 200°C 이상인 경우에는 b값이 감소한다고 보고하였다. 총색차는 숫자가 클수록 색깔의 변화가 큰 것을 확인하는 것이며, 3 이상인 경우 뚜렷한 색 변화가 있는 것으로 간주한다(Zhou et al. 2017; Kim & Lim 2018). Ha & Kim(1996)

<Table 1> Color values of roasted quinoa

Roasted temperatures	Color values			Color changes
	L	a	b	ΔE
Raw	78.658±0.229 ^a	1.250±0.074 ^d	17.526±0.254 ^c	-
160°C	70.308±0.648 ^b	3.156±0.183 ^c	21.346±0.995 ^a	9.401±0.955 ^b
200°C	68.918±0.269 ^c	5.014±0.073 ^b	20.370±0.340 ^b	10.875±0.264 ^b
220°C	63.250±0.502 ^d	5.236±0.109 ^a	18.163±0.302 ^c	16.006±0.505 ^a

All values are mean±SD of triplicate determinations.

^{a-d}Means in the bars are significantly different at p<0.05 by Duncan's multiple range test.

<Table 2> Contents of total polyphenols, flavonoids and quercetin of quinoa

Roasted temperatures	Total polyphenols (mg GAE/100 g DW)	Total Flavonoids (mg CE/100 g DW)	Quercetin (µg/100 g DW)
Raw	121.617±1.974 ^d	52.925±2.637 ^c	0.435±0.012 ^c
160°C	150.099±9.095 ^c	67.320±3.647 ^b	0.670±0.049 ^c
200°C	208.193±14.256 ^b	68.797±2.355 ^b	6.699±0.031 ^b
220°C	253.351±7.827 ^a	81.279±1.210 ^a	12.655±0.178 ^a

All values are mean±SD of triplicate determinations.

^{a-d}Means in the bars are significantly different at p<0.05 by Duncan's multiple range test.

GAE: Gallic acid equivalent.

CE: Catechin equivalent.

DW: Dry weight.

의 연구에서도 커피의 로스팅 온도가 높아질수록 총색채의 변화가 큰 것을 확인할 수 있었다. 로스팅에 의해 색도 변화는 caramel화의 비효소적 갈변과 Maillard reaction이 갈색화의 주요 요인이며, 로스팅 된 커피의 갈색물질인 멜라노이드는 환원당의 카르보닐기와 단백질의 아미노기 사이에서 Maillard reaction을 하여 생성된 물질에 의해 황색도가 증가하는 것으로 보고되어져 있다(Kim et al. 2019; Kim et al. 2020). 본 연구에서도 이전 연구와 마찬가지로 로스팅 온도에 따른 퀴노아의 색 변화는 로스팅 온도가 상승할수록 L값은 낮아지는 것을 확인할 수 있었으며, 적색도를 나타내는 a 값의 경우 온도가 상승할수록 값이 증가하는 것을 확인할 수 있었다. 황색도를 나타내는 b값은 일정 온도 이상이 되면 값이 감소하는 것을 확인할 수 있었다. 그리고 로스팅 온도가 증가할수록 총색채의 변화가 큰 것을 확인하였다.

2. 로스팅 온도에 따른 퀴노아의 총 폴리페놀, 총 플라보노이드 및 quercetin 함량 변화

페놀화합물은 항산화 특성과 활성산소들을 제거하는 능력을 가졌으며, 그 중 플라보노이드는 항암, 항염증, 심혈관 질환 등에 강력한 효과를 보인다고 보고되어 있다(Yao et al. 2020). 온도별로 로스팅 된 퀴노아에 따른 총 폴리페놀 함량은 gallic acid의 함량으로 환산하여 <Table 2>에 나타내었다. 총 폴리페놀 함량의 경우, 220°C에서 로스팅 한 퀴노아가 253.351±7.827 mg GAE/100 g으로 가장 높은 함량을 보였으며, 생것이 121.617±1.974 mg GAE/100 g으로 가장 낮

은 함량을 보였다. 총 플라보노이드 함량은 catechin을 표준품으로 환산하여 mg CE/100 g으로 나타내었다. 총 플라보노이드의 경우, 220°C에서 로스팅을 한 퀴노아가 81.279±1.210 mg CE/100 g으로 가장 높게 나타났으며, 로스팅을 하지 않은 경우 52.925±2.637 mg CE/100 g으로 가장 낮았다. 로스팅 온도가 상승할수록 총 폴리페놀 및 플라보노이드가 증가하는 것을 확인할 수 있었다. Lee et al.(2019)에 따르면 로스팅 온도가 상승함에 따라 카무트의 총 폴리페놀 및 플라보노이드 함량이 상승한다고 하였으며, 본 연구에서도 유사한 경향을 확인할 수 있다. 로스팅한 퀴노아의 quercetin 함량을 측정하기 위해 HPLC를 이용하여 분석하였으며, 분석결과는 <Table 2>에 나타내었다. 로스팅을 220°C에서 진행한 경우 quercetin 함량이 12.655±0.178 µg/100 g으로 가장 높게 나타났으며, 로스팅 온도가 낮아질수록 그 함량이 감소하는 것을 확인할 수 있었다. 퀴노아는 quercetin, kaempferol, caffeic acid 및 furulic acid 등의 페놀화합물이 풍부하게 함유되어 있으며, 이러한 페놀화합물은 항산화, 항균, 항염증 및 항종양 활성이 뛰어난 것으로 알려져 있다(Chandrasekara & Shahidi 2011). Babiker et al.(2021)에 의하면 로스팅 온도가 상승함에 따라 식품 내 세포 매트릭스의 분자 결합이 파괴되어 생리활성물질의 용출이 늘어나 항산화 활성이 증가된다고 하였다. 본 연구에서도 퀴노아의 로스팅 온도가 증가할수록 총 폴리페놀 및 플라보노이드의 함량이 증가하였고, quercetin의 함량 또한 증가하는 것을 확인할 수 있었다.

<Table 3> ABTS, DPPH radical scavenging activity and reducing power of methanolic extract of quinoa

Roasted temperatures	ABTS radical scavenging activity (%)	DPPH radical scavenging activity (%)	Reducing power (mg GAE/100 g DW)
Raw	38.222±1.214 ^d	22.047±0.911 ^d	34.973±2.321 ^d
160°C	42.458±0.497 ^c	27.143±1.518 ^c	41.559±1.103 ^c
200°C	68.482±1.666 ^b	41.293±1.351 ^b	68.410±2.368 ^b
220°C	73.650±1.614 ^a	48.863±2.085 ^a	80.298±2.696 ^a

All values are mean±SD of triplicate determinations.

^{a-d}Means in the bars are significantly different at p<0.05 by Duncan's multiple range test.

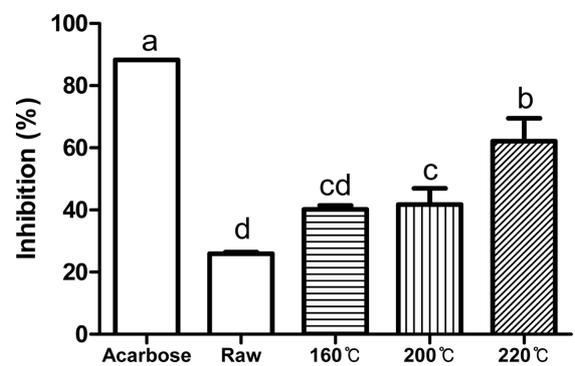
GAE: Gallic acid equivalent.

DW: Dry weight.

3. 로스팅 온도에 따른 퀴노아의 *in vitro* 항산화 활성 및 alpha-glucosidase 억제능

온도별 로스팅 된 퀴노아의 라디칼 소거능을 측정하기 위해 ABTS 및 DPPH 라디칼의 소거능을 측정하여 <Table 3>에 나타내었다. ABTS 및 DPPH 라디칼 소거능의 경우 생것이 각각 38.222±1.214% 및 22.047±0.911%로 가장 낮은 소거능을 보였으며, 로스팅 한 시료는 생것보다 라디칼 소거능을 증가시키는 것으로 나타났다. 220°C에서 로스팅 한 퀴노아는 각각 73.650±1.614% 및 48.863±2.085%의 가장 높은 ABTS 및 DPPH 라디칼 소거능을 보였으며, 로스팅 온도가 상승할수록 라디칼 소거능이 상승하는 것을 확인할 수 있었다. 환원력의 경우 ABTS 및 DPPH와는 다르게 Fe³⁺ 화합물의 수소이온이 유리 라디칼을 안정화 시켜 Fe²⁺로 환원시키는 능력을 흡광도 값으로 나타내는 실험이다(Sa et al. 2010). 환원력의 경우 220°C에서 80.298±2.696 mg GAE/100 g으로 가장 높은 값을 보였으며, 온도가 증가함에 따라 환원력이 증가하는 것을 <Table 3>에서 확인할 수 있었다. Carciochi et al.(2016)에 따르면 퀴노아에 100, 145, 190°C에서 열처리를 함으로써 폴리페놀 함량이 증가하여 퀴노아의 환원력이 증가하는 것으로 보고되어져있다. 뿐만 아니라 Vignoli et al.(2014)에 의하면 커피의 로스팅 중 페놀화합물 외에 멜라노이딘 등과 같은 항산화 물질이 형성되어 항산화능이 증가할 수 있다고 하였다. 본 연구에서도 퀴노아를 로스팅 함에 따라 Maillard reaction에 의한 항산화능을 갖는 성분의 형성으로 항산화력이 증가된 것으로 판단된다. 로스팅 된 퀴노아에서 가장 높은 온도인 220°C의 경우 총 폴리페놀 및 플라보노이드 함량이 가장 높은 것을 확인할 수 있으며, 로스팅 온도가 상승할수록 ABTS 및 DPPH 라디칼 소거능과 환원력이 증가하는 것을 확인할 수 있었다.

또한 본 연구에서는 로스팅 한 퀴노아의 alpha-glucosidase 억제 효과를 측정하였으며, acarbose를 양성대조군으로 실험에 사용하였다. Alpha-glucosidase 억제제는 포도당의 흡수를 억제하여 사후의 포도당을 감소시키는데 매우 효과적이며, 고혈당(당뇨병)과 고지혈증(비만)의 치료 및 관리에 효과적이라고 알려져 있다(Kannan et al. 2013). 실험에 사용된 퀴



<Figure 1> Alpha-glucosidase inhibition of methanolic extracts of quinoa.

^{a-d}Means in the bars are significantly different at p<0.05 by Duncan's multiple range test.

노아 추출물은 25.929-62.128%의 alpha-glucosidase 억제능을 보였으며, acarbose의 경우에는 88.257%를 억제하는 것으로 나타났다. 특히 220°C에서 로스팅 된 퀴노아의 경우 62.128%로 생것에 비하여 alpha-glucosidase 억제능이 유의적으로 증가하였다. You et al.(2012)에 따르면 alpha-glucosidase 억제 활성은 ellagic acid 및 quercetin 등과 같은 페놀화합물과 관계가 있다고 보고되어져있다. 본 연구결과에서도 로스팅에 의해 quercetin 및 폴리페놀화합물의 함량이 증가하는 것을 확인할 수 있었고, 이러한 이유로 alpha-glucosidase 억제능이 증가한 것으로 사료된다.

로스팅 된 퀴노아의 생리 활성과 페놀화합물 사이의 상관관계를 확인하기 위해 ABTS 및 DPPH 라디칼 소거능, 환원력, alpha-glucosidase inhibition, 총 폴리페놀, 총 플라보노이드, quercetin과의 상관관계를 알아보았다<Table 4>. 총 플라보노이드와 ABTS 및 DPPH 라디칼 소거능, 환원력, alpha-glucosidase 억제능과의 상관관계는 각각 0.974 (p<0.05), 0.997 (p<0.01), 0.993 (p<0.01), 0.932로 높은 상관관계를 보였으나, alpha-glucosidase 억제능에서만 유의성이 나타나지 않았다. 총 플라보노이드는 alpha-glucosidase 억제능과 0.986 (p<0.05)으로 높은 상관관계를 보였으며, 다른 활성과는 유의적인 상관관계를 나타내지 않았다. Quercetin은 DPPH 라

<Table 4> Correlation coefficients between functional compounds and antioxidant activities of quinoa

	ABTS radical scavenging capacity	DPPH radical scavenging capacity	Reducing power	Inhibition of alpha-glucosidase	Total polyphenols	Total flavonoids	Quercetin
ABTS radical scavenging capacity	1.000	0.988*	0.994**	0.827	0.974*	0.834	0.948
DPPH radical scavenging capacity		1.000	0.999**	0.903	0.997**	0.902	0.973*
Reducing power			1.000	0.882	0.993**	0.879	0.974*
Inhibition of alpha-glucosidase				1.000	0.932	0.986*	0.905
Total polyphenols					1.000	0.927	0.978*
Total flavonoids						1.000	0.866
Quercetin							1.000

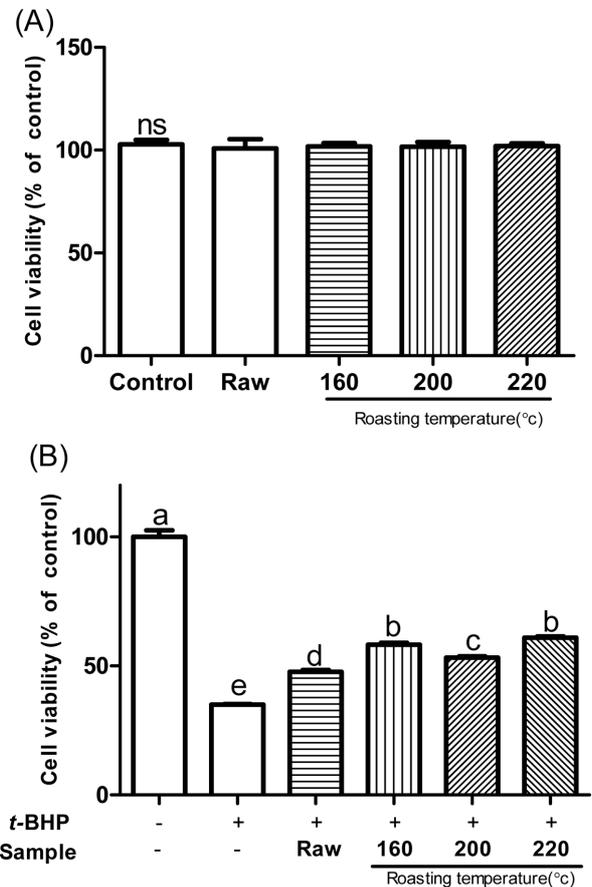
**Significant at p<0.01

*Significant at p<0.05

디칼 소거능(0.973)과 환원력(0.974)에서 유의적인 상관관계를 보였으며, 다른 활성과는 유의적이지 않았다. 이전 연구들에 의하면 페놀화합물과 항산화 활성은 밀접한 상관관계가 있으며, alpha-glucosidase 억제능과도 높은 양의 상관관계를 나타낸다고 보고되어져있다(Aqil et al. 2006; Lee et al. 2020). Jo et al.(2013)의 연구에서도 보리와 밀의 총 페놀화합물의 함량과 항산화 활성은 높은 양의 상관관계가 있다고 하였다. 또한 Kim et al.(2019)의 연구에서도 로스팅된 커피의 항산화 활성과 총 폴리페놀 및 플라보노이드의 함량은 양의 상관관계를 나타낸다고 하였으며, 로스팅 온도가 상승할수록 항산화 활성과 페놀화합물의 함량이 증가한다고 하였다. 본 연구에서도 로스팅 온도가 상승할수록 총 폴리페놀, 총 플라보노이드 및 quercetin 등의 함량이 증가하였으며, 이로 인해 라디칼 소거능, 환원력 및 alpha-glucosidase 억제능이 증가된 것으로 생각된다.

4. 로스팅 온도에 따른 퀴노아의 산화적 스트레스에 대한 간세포 보호효과

본 연구에서는 로스팅된 퀴노아의 산화적 스트레스에 대한 간세포 보호 효과를 알아보았다. 실험에 사용한 모든 시료는 100 µg/mL의 농도로 처리를 하였으며, 대조군 대비 모든 시료에서 독성을 보이지 않았다<Figure 2A>. 산화적 스트레스인 t-BHP를 처리한 경우에는 세포의 생존율이 35.000%로 낮아졌으나, 시료를 함께 처리한 경우에는 세포 생존율이 유의적으로 증가하는 것을 확인할 수 있었다<Figure 2B>. Li et al.(2014)의 연구에 의하면 메밀의 quercetin과 rutin은 산화적 스트레스에 대하여 효과적으로 세포를 보호하는 것으로 보고되어져있다. 플라보노이드인 quercetin 등은 과산화수소 효소를 감소시켜 산화적 스트레스로부터 효과적으로 세포를 보호하며, 세포 내 라디칼의 형성도 억제하는 것으로 알려져 있다(Hussain et al. 2016). 이러한 폴리페놀과 플라보노이드는 산화적 스트레스에 의해 과도하게 발생된 reactive oxygen species (ROS)로 인한 세포



<Figure 2> Effects of methanolic extracts from roasted quinoa (100 µg/mL) in cytotoxicity (A) and protective effect (B) against oxidative stress determined by MTT assay in HepG2 cells.

^{a-e}Means in the bars are significantly different at p<0.05 by Duncan's multiple range test. ns, not significant.

손상과 nuclear factor kappa-B 신호를 조절하는 항산화 효소의 활성을 증가시켜 방어 작용을 한다고 하였다(Byun et al. 2020). Kim et al.(2011)은 quercetin이 간세포에서 산화

적 스트레스에 대하여 효과적으로 세포를 보호하는 것으로 보고하였다. 뿐만 아니라 quercetin은 xanthine oxidase와 lipoxygenase 등과 같은 산화효소의 활성을 억제하며, heme oxygenase-1 등과 같은 항산화 효소의 활성을 증가시키며 간세포를 보호하는 것으로 알려져 있다(Chen et al. 2019). 그리고 quercetin은 실험동물에서도 산화적 스트레스에 대하여 alkaline phosphatase의 활성 및 low density lipoprotein cholesterol 등의 농도를 감소시켜 간세포를 보호한다고 알려져 있다(Yousef et al. 2010). 본 연구에서 로스팅 된 퀴노아 추출물은 t-BHP에 의한 산화적 스트레스에 대해 간세포를 보호하는 효과가 있는 것으로 나타났으며, 이는 로스팅에 의해 퀴노아에서 quercetin과 같은 폴리페놀화합물의 함량이 증가되었기 때문인 것으로 생각된다.

IV. 요약 및 결론

본 연구는 퀴노아의 온도별 로스팅에 따른 생리활성의 변화에 대해 연구하였다. 색도는 명도를 나타내는 L값의 경우 로스팅 온도가 상승할수록 감소하는 것을 확인 하였다. 적색도를 나타내는 a값의 경우 로스팅 온도가 상승할수록 a값이 유의적으로 증가하였으며, 황색도를 나타내는 b값의 경우 160°C에서 가장 높은 값을 확인하였으며 그 이상 로스팅 온도에서는 b값이 감소하였다. 생 시료와 로스팅 된 시료의 총 색차는 160°C와 200°C는 유의적인 차이가 없었으며, 220°C에서 유의적으로 높아진 것을 확인할 수 있었다. 총 폴리페놀 함량의 경우 121.617-253.351 mg GAE/100 g로 온도가 상승할수록 함량이 증가하는 것으로 나타났다. 또한 총 플라보노이드 및 quercetin 함량은 각각 52.925-81.279 mg CE/100 g, 0.435-12.655 µg/100 g으로 온도가 상승할수록 함량도 증가하였다. ABTS 및 DPPH 라디칼 소거능은 38.222-73.650%, 22.047-48.863%로 온도 상승에 따라 라디칼 소거능이 증가하는 것을 확인할 수 있었으며, 환원력의 경우 34.973-80.298 mg GAE/100 g으로 ABTS 및 DPPH 라디칼 소거능과 유사하게 로스팅 온도에 따라 유의적인 증가를 나타내었다. Alpha-glucosidase 억제능을 측정할 결과, 양성대조군인 acarbose는 88.257%의 저해능을 나타내었고, 실험에 사용된 퀴노아 추출물은 25.929-62.128%의 저해능을 보여주었다. 총 폴리페놀은 ABTS 및 DPPH 라디칼 소거능, 환원력과 유의적인 상관관계를 나타내었으며, 총 플라보노이드의 경우 alpha-glucosidase 억제능과 유의적인 상관관계를 나타냈다. Quercetin의 경우 DPPH 라디칼 소거능과 환원력에서 유의적인 상관관계를 보였다. 로스팅 된 퀴노아는 간세포에 산화적 스트레스를 유발하였을 때 간세포를 보호하였으며, 특히 로스팅 온도가 증가함에 따라 간세포 생존율이 증가하는 것으로 나타났다. 본 연구 결과에서는 로스팅 된 퀴노아의 로스팅 온도에 따른 항산화 활성의 변화와 산화적 스트레스에 대한 간세포 보호 효과를 알아보았으며, 본 연구 결

과는 퀴노아를 활용한 건강식품 개발을 위한 기초 자료로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

저자 정보

진민근(경성대학교 일반대학원 식품생명공학과, 석사과정 대학원생, 0000-0002-8627-3725)

전아영(경성대학교 일반대학원 식품생명공학과, 석사과정 대학원생, 0000-0003-3721-753X)

권지현(경성대학교 일반대학원 식품생명공학과, 석사과정 대학원생, 0000-0003-0459-6676)

김나은(경성대학교 일반대학원 식품생명공학과, 석사과정 대학원생, 0000-0002-0217-9337)

김영화(경성대학교 식품응용공학부, 교수, 0000-0003-4186-887X)

감사의 글

이 성과는 2021년도 Brain Busan 21 플러스 사업에 의하여 지원되었고, 이에 감사드립니다.

Conflict of Interest

No potential conflict of interest relevant to this article was reported.

References

- Ahmed IAM, Al Juhaimi FY, Osman MA, Al Maiman SA, Hesham AB, Alqah HA, Elfadil EB, Ghafoor K. 2020. Effect of oven roasting treatment on the antioxidant activity, phenolic compounds, fatty acids, minerals, and protein profile of Samh (*Mesembryanthemum forsskalei* Hochst) seeds. *LWT-Food Sci. Technol.*, 131:109825
- Aqil F, Ahmad I, Mehmood Z. 2006. Antioxidant and free radical scavenging properties of twelve traditionally used Indian medicinal plants. *Turk J. Biol.*, 30(3):177-183
- Babiker EE, Uslu N, Al Juhaimi Fahmed, I A M, Ghafoor K, Özcan M M, Almusallam I A. 2021. Effect of roasting on antioxidative properties, polyphenol profile and fatty acids composition of hemp (*Cannabis sativa* L.) seeds. *LWT-Food Sci. Technol.*, 139:110537
- Baik HJ, Ko YS. 1996. Studies on the aroma components of roasted and ground coffee. *Korean J. Food Sci. Technol.*, 28(1):15-18
- Berk E, Hamzaloğlu A, Gökmen V. 2019. Investigations on the Maillard reaction in sesame (*Sesamum indicum* L.) seeds induced by roasting. *J. Agric. Food Chem.*, 67(17):4923-4930
- Blois MS. 1958. Antioxidant determinations by the use of a stable free radical. *Nature*, 181(4617):1199-1200

- Bolek S, Ozdemir M. 2017. Optimization of roasting conditions of *Pistacia terebinthus* in a fluidized bed roaster. *LWT-Food Sci. Technol.*, 80:67-75
- Byun EB, Kim MJ, Kim SJ, Oh NS, Park SH, Kim WS, Song HY, Han JM, Kim K, Byun EH. 2020. Antioxidant activity and neuroprotective effects of ethanol extracts from the core of *Diospyros kaki*. *Korean J. Food Sci. Technol.*, 52(1):60-66
- Carciochi RA, Galván DAL, Manrique GD. 2016. Effect of roasting conditions on the antioxidant compounds of quinoa seeds. *J. Food Technol.*, 51(4):1018-1025
- Chandrasekara A, Shahidi F. 2011. Inhibitory activities of soluble and bound millet seed phenolics on free radicals and reactive oxygen species. *J. Agric. Food Chem.*, 59:428-436
- Chen L, Li K, Liu Q, Quiles J L, Filosa R, Kamal M A et al. 2019. Protective effects of raspberry on the oxidative damage in HepG2 cells through Keap1/Nrf2-dependent signaling pathway. *Food Chem. Toxicol.*, 133:110781
- Cheon W, Seo D, Kim Y. 2019. Antioxidative and hepatocyte protective effects of guava (*Psidium guajava* L.) leaves cultivated in Korea. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.*, 32(1):33-40
- Comai S, Bertazzo A, Bailoni L, Zancato M, Costa CV, Allegrì G. 2007. The content of proteic and nonproteic (free and protein-bound) tryptophan in quinoa and cereal flours. *Food Chem.*, 100(4):1350-1355
- Folin O, Denis W. 1912. On phosphotungstic-phosphomolybdic compounds as color reagents. *J. Biol. Chem.*, 12(2):239-243
- Formica JV, Regelson W. 1995. Review of the biology of quercetin and related bioflavonoids. *Food Chem. Toxicol.*, 33(12):1061-1080
- Goh HY, Lee YT. 2017. Effects of heat treatments on physicochemical properties and *in vitro* biological activities of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.*, 46(6):688-694
- Ha JH, Kim DH. 1996. Changes in the physico-chemical properties of the meals from the defatted sesame seeds at various roasting temperature and time. *Korean J. Food Sci. Technol.*, 28(2):246-252.
- Ha TJ, Lee JH, Lee MH, Lee BW, Kwon, HS, Park, CH, Jang DS. 2012. Isolation and identification of phenolic compounds from the seeds of *Perilla frutescens* (L.) and their inhibitory activities against α -glucosidase and aldose reductase. *Food Chem.*, 135(3):1397-1403
- Hussain T, Tan B, Yin Y, Blachier F, Tossou MC, Rahu N. 2016. Oxidative stress and inflammation: what polyphenols can do for us? *Oxid. Med. Cell Longevity.*, 2016: 7432797
- Jeong KY, Sim KH. 2020. Comparison of the nutritional composition of quinoa seeds cultivated in Korea depending on different cooking methods. *Korean J. Food & Nutr.*, 33(2):117-130
- Jeong SO, Kim HY, Han JS, Kim MJ, Kang MS, Kim AJ. 2016. Manufacture and quality evaluation of beverage with prepared with roasted scoritae. *Korean J. Food & Nutr.*, 29(4):557-564
- Jo SH, Cho CY, Ha KS, Choi EJ, Kang YR, Kwon YI. 2013. The antioxidant and antimicrobial activities of extracts of selected barley and wheat inhabited in Korean peninsula. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.*, 42(7):1003-1007
- Kannan. RR, Mutalib AA, Stephen OA, Wendy AS, Johannes VS. 2013. Potential antiradical and alpha-glucosidase inhibitors from *Ecklonia maxima* (Osbeck) Papenfuss. *Food chem.*, 141(2):1412-1415.
- Kim DS, Lim SB. 2018. Composition of phenolic compounds and antioxidant activities of subcritical water extracts of onion skin. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.*, 47(4):403-413
- Kim EY, Jeong YH, Gu SY, Song KY, Kim IY, Kim KY. 2019. Physicochemical characteristics of Brazilian *Coffea arabica* cv. Catuai coffee extracts with different roasting conditions. *Korean J. Food Sci. Technol.*, 48(7):748-756
- Kim GN, Kwon YI, Jang HD. 2011. Protective mechanism of quercetin and rutin on 2, 2'-azobis (2-amidinopropane) dihydrochloride or Cu²⁺-induced oxidative stress in HepG2 cells. *Toxicol In Vitro.*, 25(1):138-144
- Kim IY, Jung SY, Kim EY, Yun HY, Zhang SK, Ha JH, Jeong YH. 2020. Physicochemical characteristics of El Salvadoran *Coffea arabica* cv. Bourbon coffee extracts with various roasting conditions. *Korean J. Food Sci. Technol.*, 52(3):212-219
- Kowalski RJ, Medina-Meza IG, Thapa BB, Murphy KM, Ganjyal GM. 2016. Extrusion processing characteristics of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) var. Cherry Vanilla. *J. Cereal Sci.*, 70:91-98
- Lee H, Yu M, K HJ, Sung J, Jeong HS, Lee J. 2020. Antioxidant and anti-diabetic activities of ethanol extracts of cereal grains and legumes. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.*, 49(4):323-328
- Lee P, Hyeonbin O, Kim SY, Kim YS. 2019. Physicochemical characteristics and quality properties of a cereal-based beverage made with roasted kamut (*Triticum turgidum* ssp.). *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.*, 48(10):1112-1119
- Li Y, Duan S, Jia H, Bai C, Zhang L, Wang Z. 2014. Flavonoids from tartary buckwheat induce G2/M cell cycle arrest and apoptosis in human hepatoma HepG2 cells. *Acta Biochim. Biophys. Sin. (Shanghai)*, 46(6):460-470
- Moon JW, Cho JS. 1999. Changes in flavor characteristics and shelf-life of roasted coffee in different packaging conditions during storage. *Korean J. Food Sci. Technol.*, 31(2):441-447
- Navruz-Varli S, Sanlier N. 2016. Nutritional and health benefits of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *J. Cereal Sci.*, 69:371-376
- Oyaizu M. 1986. Studies on products of browning reaction antioxidative activities of products of browning reaction prepared from glucosamine. *Jpn J. Nutr. Diet.*, 44(6):307-315

- Patrignani M, Rinaldi GJ, Lupano CE. 2016. *In vivo* effects of Maillard reaction products derived from biscuits. *Food Chem.*, 196:204-210
- Re R, Pellegrini N, Proteggente A, Pannala A, Yang M, Rice-Evans C. 1999. Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free Radic. Biol. Med.*, 26(9-10):1231-1237
- Sa YJ, Kim JS, Kim MO, Jeong HJ, Yu CY, Park DS, Kim MJ. 2010. Comparative study of electron donating ability, reducing power, antimicrobial activity and inhibition of α -glucosidase by *Sorghum bicolor* extracts. *Korean J. Food Sci. Technol.*, 42(5):598-604
- Shin NR, Moon JS, Shin SY, Li L, Lee YB, Kim TJ, Han NS. 2016. Isolation and characterization of human intestinal *Enterococcus avium* EFEL009 converting rutin to quercetin. *Lett. Appl. Microbiol.*, 62(1):68-74
- Sim KH. 2019. A comparison of food components between Korean and imported quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.*, 32(5):442-453
- Vignoli JA, Viegas MC, Bassoli DG, de Toledo Benassi M. 2014. Roasting process affects differently the bioactive compounds and the antioxidant activity of arabica and robusta coffees. *Food Res. Int.*, 61:279-285
- Yao Y, Wang H, Xu F, Zhang Y, Li Z, Ju X, Wang L. 2020. Insoluble-bound polyphenols of adlay seed ameliorate H₂O₂-induced oxidative stress in HepG2 cells via Nrf2 signalling. *Food chem.*, 325:126865
- You Q, Chen F, Wang X, Jiang Y, Lin S. 2012. Anti-diabetic activities of phenolic compounds in muscadine against α -glucosidase and pancreatic lipase. *LWT-Food Sci. Technol.*, 46(1):164-168
- Yousef MI, Omar SA, El-Guendi MI, Abdelmegid LA. 2010. Potential protective effects of quercetin and curcumin on paracetamol-induced histological changes, oxidative stress, impaired liver and kidney functions and haematotoxicity in rat. *Food Chem. Toxicol.*, 48(11):3246-3261
- Zhishen J, Mengcheng T, Jianming W. 1999. The determination of flavonoid contents in mulberry and their scavenging effects on superoxide radicals. *Food chem.*, 64(4):555-559
- Zhou R, Cai W, Xu B. 2017. Phytochemical profiles of black and yellow soybeans as affected by roasting. *Int. J. Food Prop.*, 20(12):3179-3190
- INIA [Instituto Nacional de Innovacion Agraria], FAO [Food and Agriculture Organization of the United Nations]. 2015. Catalogue of commercial varieties of quinoa in Peru: A future planted thousands of years ago. Available from <http://www.fao.org/documents/card/en/c/f351e07b-bd68-4724-a849-778dd44e6358/> [cited 20 January 2021]

Received June 7, 2021; revised June 22, 2021; accepted June 25, 2021