

이미지 데이터와 HTML 색도표를 이용한 강낭콩(*Phaseolus vulgaris* L.)의 종피색 분포확인 및 그 응용방법 모색

이수경¹ · 이채원² · 김영욱³ · 백정호¹ · 한경덕⁴ · 강만정^{5,†}

Seed Color Classification Method for Common Bean (*Phaseolus vulgaris* L.) Using Imagery Data and an HTML Color Chart

Sookyeong Lee¹, Chaewon Lee², Younguk Kim³, Jeongho BAEK¹, Gyung Deok Han⁴, and Manjung Kang^{5,†}

ABSTRACT In the present study, the seed color of 200 common bean genetic resources was analyzed and located on the HTML color chart to classify these resources according to color characteristics. This classification method predicts the components of seed and may serve as a new method for efficiently using secured genetic resources. The imagery data of common bean exhibiting various seed colors were expressed using the HTML color chart. According to the proposed classification method, the seed color was distributed in seven categories: yellow-green, yellow, brown, red, white, gray, and indigo. In addition, the distribution of each seed color was according to its concentration. The distribution by concentration was the highest for red, whereas the distribution of gray and yellow-green was not concentration-dependent. As the dominant pigments based on color distribution, chlorophylls in yellow-green; carotenoids in yellow; and anthocyanins in brown, red, white, gray, and indigo significantly affected seed color. When expressed objectively, seed colors can be applied to the systematic management, breeding, and cultivation of genetic resources and can be useful for marketing or developing products of desired colors. This method can also be applied to other crops.

Keywords : anthocyanin, carotenoids, chlorophyll, phenolics, seed coat

최근 작물 유전체의 정보를 획득하는 기술이 비약적으로 발전하고, 이를 전통적인 표현형지표와 연결시켜 작물육종에 활용하는 표현체학의 중요성이 대두되고 있다(Kim *et al.*, 2015). 표현체학은 유전체의 정보화 표현형을 시스템적으로 분석하는데, 이를 위해서는 작물 표현형 정보의 수집과 디지털화가 요구된다.

이 연구에는 다양한 종피 색깔을 나타내는 것으로 알려진 작물인 강낭콩(*Phaseolus vulgaris* L.)의 이미지 데이터를 이용하여 종피색을 분석하고자 한다. 강낭콩은 콩과에 속하는 1년생 덩굴식물로, 세계 각지에 분포하고 있는 작물이다. 강낭콩은 영양적으로 매우 중요한 두과작물로 칼로리와 단백질의 원천이며 전 세계적으로도 중요한 작물이다(McClean

et al., 2012). 우리나라에서도 재배 규모가 크지는 않으나, 전국적으로 폭넓게 재배되고 있으며, 종피색이 매우 다양한 작물로 알려져 있다(Lee *et al.*, 2012; Park, 1986).

강낭콩의 경우, 종피색에 따라 다양한 특징을 지닌다는 사실이 선행 연구를 통해 잘 알려져 있다. 각 강낭콩 유전자원의 종피 내 폴리페놀 함량이 다르며 이에 따른 항산화 활성이 다르다는 것은 이미 보고된 바 있고(Kan *et al.*, 2016; Park *et al.*, 2014), 종피색에 따라 흑색종과 백색종은 단백질 함량이 높고, 적색종은 단백질 함량이 낮은 것으로 보고한 연구도 있다(Park & Jo, 1995). 또한 종피색에 따른 Isoflavone 함량이 달라 이를 나누어 용도별로 사용할 것을 제안한 연구도 존재한다(Cho *et al.*, 2007). Anthocyanin 은 종

¹국립농업과학원 농업연구사 (Researcher, National Institute of Agricultural Sciences (NIAS), Jeonju 54874, Korea)

²국립농업과학원 박사과정연구원 (PhD Student, National Institute of Agricultural Sciences (NIAS), Jeonju 54874, Korea)

³국립농업과학원 석사과정연구원 (Master Student, National Institute of Agricultural Sciences (NIAS), Jeonju 54874, Korea)

⁴제주대학교 연구원 (Researcher, Jeju National University, Jeju 63243, Korea)

⁵국립농업과학원 농업연구관 (Senior Researcher, National Institute of Agricultural Sciences (NIAS), Jeonju 54874, Korea)

†Corresponding author: Manjung Kang; (Phone) +82-63-238-4870; (E-mail) mjkang@korea.kr

<Received 7 September, 2021; Revised 8 October, 2021; Accepted 14 October, 2021>

피 색깔에 관여하며(Hu *et al.*, 2015), cyanidin 3,5-diglucoside, delphinidin 3-glucoside, cyanidin 3-glucoside, petunidin 3-glucoside, 과 pelargonidin 3-glucoside를 포함한 5개 주요 anthocyanin이 강낭콩의 종피에 함유되어 있다고 보고되어 있다(Choung *et al.*, 2003). 위 5 개 주요 anthocyanin 들은 pH에 따라 색이 변하지만 대표적으로는 cyanidin 3,5-diglucoside은 파란색에서 초록색, delphinidin 3-glucoside은 푸른빛이 도는 붉은색, cyanidin 3-glucoside은 붉은색에서 푸른색, petunidin 3-glucoside은 붉은색, 그리고 pelargonidin 3-glucoside은 붉은색에서 보라색 색상을 나타낸다고 알려져 있다.

지금까지 알려진 정보들을 정리하고, 강낭콩의 이미지 데이터를 응용하여 HTML 색도표에 일치시킨다면, 각 강낭콩 종피에 들어있는 색소를 직접 분석하지 않고도 높은 정확도로 예측하는 것이 가능할 것이다. 강낭콩이 사용되는 국가나 산업에 따라 선호하는 색깔이 다르다(Lee *at al.*, 2012; Lee *at al.*, 2013; Seo *et al.*, 2016). 이 색에 영향을 미치는 요소 중 하나가 anthocyanin이며, 선호도에 따른 육종을 실시할 경우, 수많은 육종 대상에 대해 HPLC를 이용하여 색소를 검증해 보는 것보다, 강낭콩 이미지 데이터를 응용하여 선호하는 색을 찾아내고, 육종에 이용하는 것이 빠르고 직관적이라는 장점을 가지고 있다. 하지만 강낭콩의 종피색 정보를 디지털화하여 연구하고 기존 데이터와 융합하거나, 이를 응용하려는 시도는 현재까지는 제한적인 상황이다.

따라서 본 연구는 수집한 200 자원의 강낭콩 유전자원의 종피 색깔을 분석하여 HTML색 도표에 위치시켜 강낭콩 종피색의 특징을 세분화하고, 종피 내 성분을 예측하는 한편, 종피색의 분류에 따른 응용 방법을 모색하려고 한다.

재료 및 방법

실험 재료

농촌진흥청 국립농업과학원 농업유전자원센터의 씨앗은행 홈페이지에서 제공하는원산지 및 종자 사진 정보를 비교하여 다양한 강낭콩 유전자원(200자원)을 분양받아 실험에 사용하였다.

이미지 촬영

강낭콩 200 자원을 촬영하기 위해서 카메라(SONY α 6000), 카메라 렌즈(SONY SEL30M35 E 30 mm F3.5 Macro)를 이용하여 장치를 제작하였고 F.와 같이 촬영된 이미지에서 RGB/CMYK 색상표는 이미지를 분석할 때 바뀌는 조명 등 환경요소와 비교하여 오차를 줄이기 위해서 사용되었다.

이미지분석

촬영된 이미지를 분석하기 위해 ImageJ (ver. 1.53j, USA) 프로그램을 이용하여 강낭콩 종피 이미지의 RGB 스펙트럼 디지털 결과를 확보하여 강낭콩 종피의 색분포를 확인하기 위하여 기존 웹상에서 많이 활용되고 있는 HTML과 비교하기 위해서 HTML 색도표로 변환하였다.

결과 및 고찰

이 연구에서는 200 자원의 강낭콩 유전자원의 종피색을 분석하였다(Table 1). Fig. 1에는 이 200자원의 강낭콩 유전자원의 종피색의 분포가 나타나 있다. 강낭콩 종피색은

Table 1. Common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) genetic resources.

Origin	BGR	CHN	KOR	GEO	UKR	SLV	Sum
	53	41	34	38	29	5	200



Fig. 1. Images of common beans (*Phaseolus vulgaris* L.) provided on the Homepage (genebank.rda.go.kr) of the National Agrobiodiversity Center.

BGR = Bulgaria; CHN = China; KOR = Korea; GEO = Georgia; UKR = Ukraina; SLV = El Salvador.

총 7가지 색 계열에 분포하며, 각 색깔별 농도에 대해서도 각각 다른 분포를 보이고 있다(Fig. 1). 각각 연두색, 노란색, 갈색, 빨간색, 흰색, 회색, 남색의 분포를 보이는데, 빨간색에서 농도별로 가장 많은 분포를 보이며, 회색과 연두색은 농도별 분포를 보이지 않고 한가지 색에 몰리는 것을 확인할 수 있다(Fig. 2 and Table 2). 강낭콩 종피 색에 따른 색소의 분포는 연두색 강낭콩은 클로로필, 노란색 강낭콩은 카로티노이드 색소가 많이 포함된 것으로 알려져 있다(Monma *et al.*, 1994). 또한 갈색, 빨간색, 흰색, 회색 그리고 남색은 안토시아닌 색소가 주로 포함된 것으로 보고 되었다(Choung *et al.*, 2003; Mojica *et al.*, 2017). 같은 종피색 내에서 색 농도의 차이는 색이 짙어질수록 많은 색소를 포함할 것이라고 예측할 수 있다.

강낭콩 유전자원의 종피색을 HTML 색 도표를 이용하여

Fig. 3과 같이 객관적인 지표를 이용하여 나타내면, 주관적인 기준으로 색을 나타낸 것에서 벗어나 종피색을 객관적인 기준으로 표현하는 것이 가능하다. 이렇게 종피의 색을 나타내면 크게 두가지 이점이 생긴다. 첫째는, 유전자원의 관리와 육종, 재배에 응용이 가능하다는 것이다. 수집한 유전자원의 색을 객관적인 기준으로 표현하는 것이 가능하기 때문에 세밀한 관리가 가능하다. 두번째로는 마케팅적인 측면에서 소비자에게 상품에 대한 정보를 객관적으로 전달하는 것이 가능하다. 소비자에게 본인이 소비하는 콩이 정확히 어떤 색이며, 무슨 색소가 포함하는지에 대한 정보를 제공하는 것이 가능하며, 이를 통해 다양한 기호를 파악하여 시장에서 우위를 점할 수 있다. 연구 결과에 의하면, 국가별 강낭콩 종피색의 분포가 다른데, 이는 국가간 선호도와 사용 용도에 따른 차이라는 것이 알려져 있으며(Lee *et*

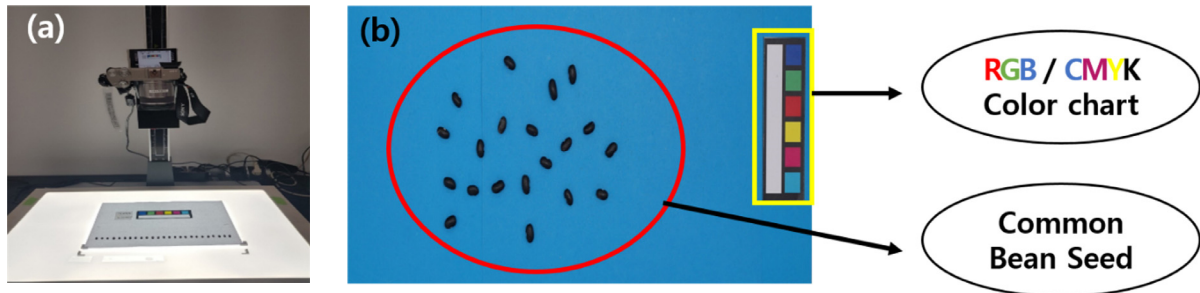


Fig. 2. Photographing device and the obtained image. The color chart beside the sample is used as the control for color to minimize environmental changes.

Table 2. Distribution of common bean seeds by color.

Color	Light green	Yellow	Brown	White	Gray	Indigo
	8 ^a	24	36	8	54	29

^aThe number of bean seed categorized by the color.

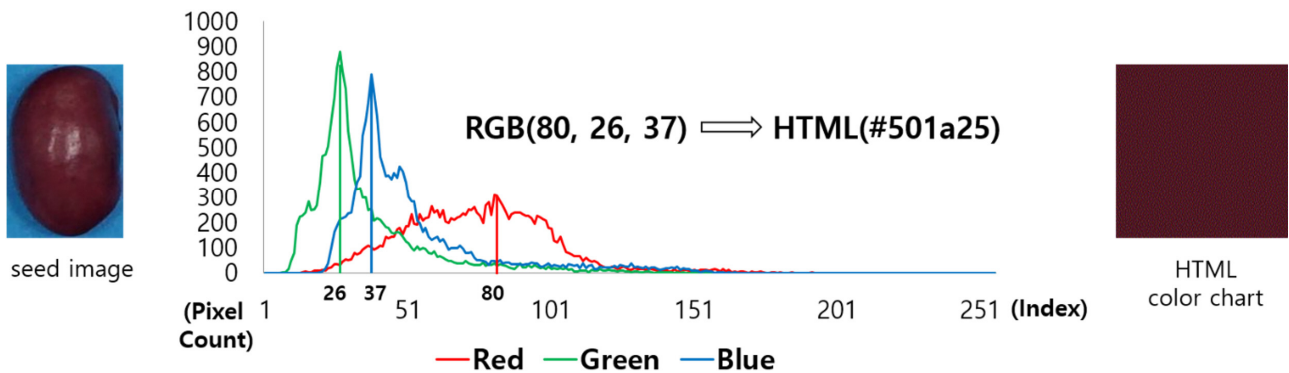


Fig. 3. HTML color chart corresponding to the highest peak value of the RGB spectrum. The seed image is analyzed for RGB digital results and transferred to the HTML color code.

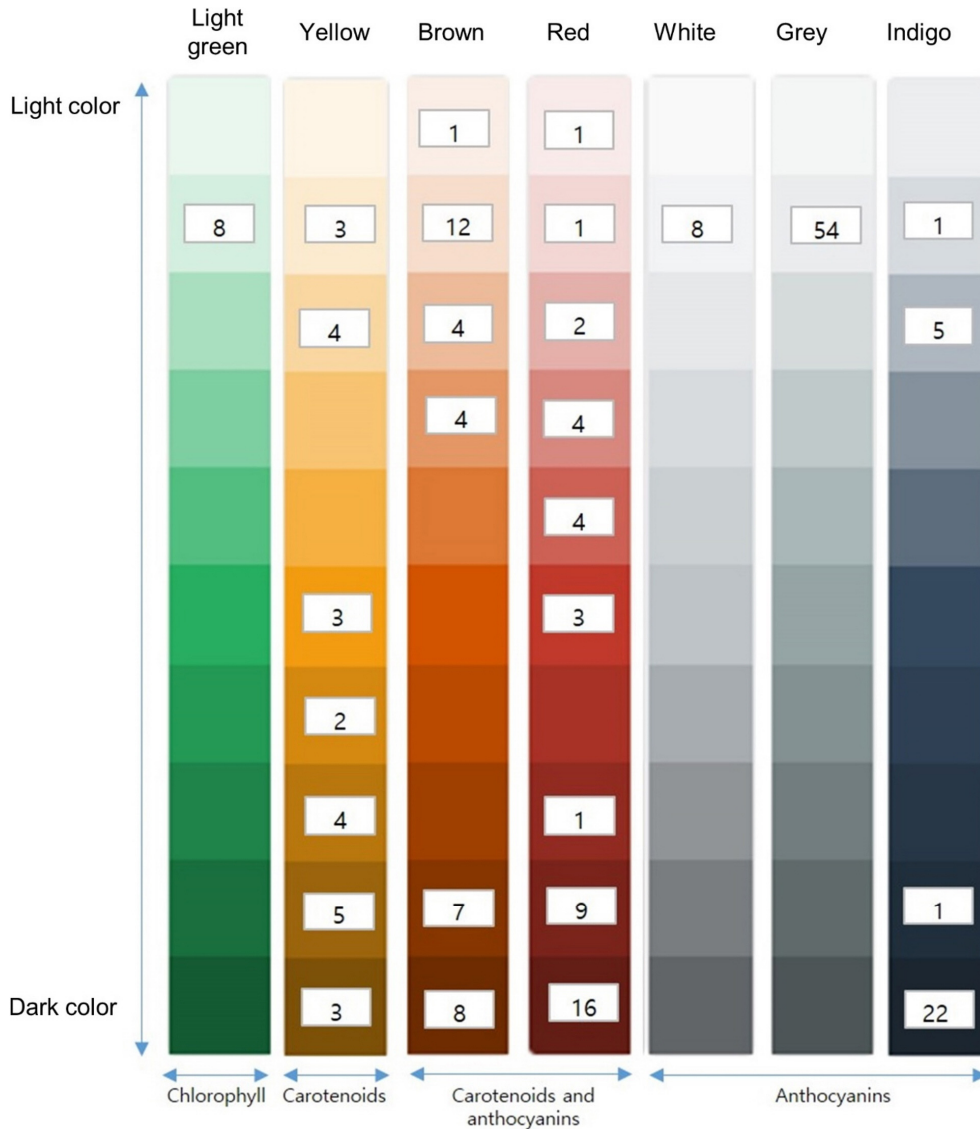


Fig. 4. HTML color chart matched to the bean seed color. The color change in the chart matches the color change of the bean seeds from the lightest to the darkest. The largest variable is shown at red by 10 levels; accordingly, the other colors also represent 10 levels of color changes.

al., 2012), 콩으로 양금을 만들 때, 적양금과 백양금으로 나뉘는데 이는 원료콩의 색깔에 영향을 받는다고 한다(Seo et al., 2016). 또한 두부를 만들 때에도 마찬가지로 원료콩의 안토시아닌 성분에 의해 두부 색의 뚜렷한 변화가 나타난다(Lee et al., 2013). 국가별로 선호하는 색이 다르기도 하고, 만들고자 하는 제품마다 선호하는 색이 다르므로 강낭콩 종피색에 선호도를 조건에 따라 정밀하게 파악하고 육종이나 판매전략에 응용할 수 있을 것이다.

또한 강낭콩을 이용한 연구는 다른 종피에 색깔을 가진 종자 식물에도 쉽게 적용될 수 있다. 예를 들어, 재래종 팥

에서도 종피색을 조사 해 본 결과 다양한 색을 나타내는 것이 알려져있으며(Rho et al., 2003), 이 연구 방법과 마찬가지로 HTML 색도표를 이용하여 종자 색의 분포를 확인(Fig. 4)하고 이를 응용하여 유전자원 관리 및 마케팅에 응용하는 것이 가능하다.

강낭콩의 이미지 데이터를 HTML 색도표에 적용하여 분석한 결과 종피색을 객관적으로 표현할 수 있었고, 이에 따라 종피 내 색소를 예측해 볼 수 있다. 추가 연구를 통해 이 예측이 실제와 일치하는지 확인해보아야 할 것이다. 또한, 색도표에 적용한 강낭콩 이미지 데이터의 효율적인 이

용 방법에 대해서도 더욱 심도있게 모색해 붉은 물론 다른 유색 종피작물에도 이 방법을 응용한다면 효율적인 유전자원 이용에 도움이 될 것이다.

적 요

본 연구의 목적은 수집한 200 자원의 강낭콩 유전자원의 종피 색깔을 분석하여 HTML색 도표에 위치시켜 강낭콩 종피색의 특징을 세분화하고, 종피 내 성분을 예측하는 한편, 종피색의 분류에 따른 응용 방법을 모색하는 것이다. 다양한 종피색을 나타내는 것으로 알려진 강낭콩 이미지 데이터를 HTML 색도표를 이용해 객관화시켰다. 이를 통해 강낭콩 유전자원의 종피색은 크게 연두색, 노란색, 갈색, 빨간색, 흰색, 회색, 그리고 남색 총 7개 색상으로 분포한다는 것을 확인했다. 또한 종피색이 각 색상별 농도에 따른 분포를 보인다는 것도 확인할 수 있었다. 강낭콩 종피는 붉은색에서 농도별 분포가 가장 많았고, 회색과 연두색은 농도별로 분포를 보이지 않고 한가지 색에만 분포했다. 이와 같이 색깔별로 분포하는 것을 기준으로 하여 우점하고 있는 색소를 예측하자면, 연두색 강낭콩은 클로로필, 노란색 강낭콩은 카로티노이드, 갈색, 빨간색, 흰색, 회색 그리고 남색은 안토시아닌 색소가 종피 색깔에 영향을 많이 주고 있는 색소임을 예측할 수 있었다. 이렇게 색상을 객관적으로 나타내면, 종피색에 따른 체계적인 유전자원의 관리와 육종, 재배에 응용이 가능하며, 정밀한 색 분별을 통한 기호 분석을 통해 마케팅에 응용하거나 원하는 색의 제품 생산에 이용할 수 있다. 이러한 방법은 팔과 같은 다양한 종피색을 가진 타 작물에서도 적용될 수 있다.

사 사

본 논문은 농촌진흥청 연구사업(세부과제명 : 국가유전자원의 종자 영상 측정 표준 및 표현형 분석 프로토콜 개발, 세부 과제번호 : PJ01419902)의 지원에 이루어진 것임.

인용문헌(REFERENCES)

Cho, Y., J. Song, B. Koo, J. Seo, S. Kim, I. Choi, J. Shin, W. Yang, and T. Ha. 2007. Effects of color differentiation and seed size of soybean on isoflavone concentration in soybean. *Korean J. Crop Sci.* 52 : 359-362.

Choung, M. G., B. R. Choi, Y. N. An, Y. H. Chu, and Y. S. Cho. 2003. Anthocyanin profile of Korean cultivated kidney bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *J. Agric. Food Chem.* 51 : 7040-7043.

Hu, J., G. Chen, Y. Zhang, B. Cui., W. Yin, X. Yu, Z. Zhu, and Z. Hu, 2015. Anthocyanin composition and expression analysis of anthocyanin biosynthetic genes in kidney bean pod. *Plant Physiol. Biochem.* 97 : 304-312.

Kan, L., S. Nie, J. Hu, Z. Liu, and M. Xie. 2016. Antioxidant activities and anthocyanins composition of seed coats from twenty-six kidney bean cultivars. *J. Funct. Foods.* 26 : 622-631.

Kim, D. S., T. Y. Lee, and J. W. Kim. 2015. Improving crop breeding efficiency using plant expression technology, 2015 Korea Breeding Society Next Generation BG21 Project Group, and GSP Project Group Joint Symposium, pp. 260-260.

Lee, J., Y. M. Choi, J. R. Lee, G. A. Lee, G. T. Cho, Y. J. Jeong, T. Stoilova, Y. J. Park, and M.C. Lee. 2012. Morphological Traits and SSR Profiling of Common bean *Phaseolus vulgaris* L. Landraces from Korea and Bulgaria. *J. Korean. Soc. Int. Agri.* 24 : 212-218.

Lee, S. J., I. S. Kim, H. J. Lee, J. I. Chung, and N. J. Sung. 2013. Properties of non-GM soybeans with lipoxygenase free genotypes. *J. Korean. Soc. Food. Sci. Nutr.* 42 : 1629-1637.

McClellan, P. E., J. Terpstra, M. McConnell, C. White, R. Lee, and S. Mamidi. 2012. Population structure and genetic differentiation among the USDA common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) core collection. *Genet. Resour. Crop Evol.* 59 : 499-515.

Mojica, L., M. Berhow, and E. G. de Mejia. 2017. Black bean anthocyanin-rich extracts as food colorants: Physicochemical stability and antidiabetes potential. *Food Chem.* 229 : 628-639.

Monma, M., J. Terao, M. Ito, M. Saito, and K. Chikuni. 1994. Carotenoid components in soybean seeds varying with seed color and maturation stage. *Biosci. Biotechnol. Biochem.* 58 : 926-930.

Park, S., J. Bae, H. J. Park, S. W. Shin, B. W. Lee, and J. M. Gho. 2014. Comparison of antioxidant activity according to seed color of kidney bean genetic resources, 2014 Korea Breeding Society Next Generation BG21 Project Group and Golden Seed Project Group Joint Symposium, pp. 130-130.

Park, S. H. and E. J. Jo. 1995. Comparison on Dimension and Hydration Rate of Korean Kidney Beans. *J. Korean Soc. Food* Nr. 24 : 286-292.

Park, Y.-m. 1986. A Study on the Varieties of Kidney Beans Native to Jeju Region. *Jeju National University Papers:* 13-18.

Rho, C. W., S. Y. Son, S. T. Hong, K. H. Lee, and I. M. Ryu. 2003. Agronomic characters of Korean adzuki beans (*Vigna angularis* (Willd.) Ohwi & Ohashi). *Korean J Plant Res* 16: 147-154.

Seo, E., A. Kim, and J. Rho. 2016. Antioxidant effects and storage stability of Yanggaeng supplemented with Lycii fructus Extract. *Int. J. Hum. Ecol.* 25 : 375-386.

Supplementary Table 1. Common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) genetic resource list and matched HTML color codes.

IT No.	HTML code	IT No.	HTML code
IT101029	#131A23	K151132	#CCB7B1
IT103070	#6F3115	K151134	#C7C0B9
IT103601	#C0B2A8	K151135	#351319
IT104302	#BFB3AA	K151137	#C4B9B0
IT104587	#CCC4BD	K151149	#9E744D
IT105200	#11141B	K151156	#926450
IT105463	#0F1217	K151221	#C2B6AF
IT105800	#C5B6AD	K151222	#CDC3BA
IT105875	#131A23	K151223	#C3B9AB
IT108897	#652C16	K151224	#CCC3BD
IT108950	#BCAEA6	K151227	#C0BAB4
IT109179	#C6BCAB	K151228	#CCC5B4
IT109569	#C3BBAD	K151237	#A07E62
IT155165	#D0C8C2	K151238	#42141B
IT160584	#171518	K151241	#895035
IT162870	#CDC6B6	K151244	#CAC1B9
IT168098	#0E121A	K156153	#10191F
IT168117	#0F171C	K156154	#BDADAA
IT175918	#301318	K156165	#BFABA1
IT180488	#11131B	K156199	#CCC0B5
IT180579	#B79489	K156235	#1B1018
IT180807	#071013	K156454	#C4BBB1
IT180812	#4B1F19	K156552	#121217
IT181914	#7A3216	K156577	#C3BAB5
IT185506	#D0C9C2	K156592	#CAC3BB
IT191171	#10171D	K164134	#CCBFB4
IT209143	#935F33	K164135	#313044
IT209144	#C5B9A9	K177337	#272237
IT212057	#813918	K187759	#F3F2F0
IT229451	#CCC2BB	K206678	#F1F0EC
IT229452	#C4BBB4	K206679	#F0E6DA
IT230269	#854D38	K206680	#E6C7B6
IT230561	#CAC2BD	K206681	#D17C4F
IT230564	#93503C	K206682	#E7C1AA
IT230567	#946434	K206684	#D8A689
IT230570	#9E6B3F	K206685	#83313F
IT230577	#CAC1B7	K206686	#E4C4BA
IT230853	#8B6338	K209566	#21263F
IT230856	#10101E	K223077	#E7C39C
IT230860	#C4BAAE	K223238	#8C3748

Supplementary Table 1. Common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) genetic resource list and matched HTML color codes (Continued).

IT No.	HTML code	IT No.	HTML code
IT230863	#C9C1BF	K223245	#CF3472
IT230864	#C4BCAB	K223249	#9B3446
IT230865	#2F121B	K226702	#522B3C
IT230868	#121117	K226703	#B68575
IT230869	#CBC2B9	K226708	#DFAD88
IT230870	#CBC1BB	K226709	#E1C4B1
IT230871	#C9BDB5	K226719	#D58584
IT230872	#CBC4BB	K226722	#D07239
IT230873	#6A4D3D	K226732	#3E3943
IT230874	#833836	K227279	#DCB38B
IT230875	#BCA699	K227280	#E2C0A2
IT230876	#744E38	K227282	#C8AA9E
IT230877	#903D16	K227283	#B88165
IT230879	#60382C	K227284	#C17F53
IT230880	#C4BAB0	K227285	#F1ECEA
IT230882	#C5B5AC	K227286	#CF8A66
IT230884	#C8C0B9	K227287	#D7BDA5
IT230885	#C8BBB5	K227294	#E6C3B2
IT231363	#BEB1AB	K228433	#EBCDC7
IT237420	#C5BBB1	K228434	#E0BAA8
IT250141	#10121B	K228437	#B93361
IT250146	#7A3512	K228439	#A75553
IT250152	#A6765D	K228440	#AA6E56
IT260958	#BCAFA1	K228472	#72293D
IT276373	#C8C1BB	K228473	#862B3D
IT285998	#C2AFA1	K228500	#F1F0E9
IT289266	#CDC5B0	K246141	#F1EDE8
IT304143	#C5B6A9	K246143	#CF8174
IT328909	#491A1D	K246187	#9E6648
IT328910	#49181E	K251301	#F2E2DE
K900080	#261015	K251302	#DCB8A3
K900109	#CABFB8	K251413	#A33F39
K910869	#5D1E25	K253310	#D8AE9A
K016579	#14151A	K253312	#D6923E
K021642	#C40C17	K254292	#D7AA97
K021643	#C4B7B0	K254293	#A83650
K021690	#483928	K254297	#7B253D
K041609	#CDC1BA	K254306	#713241
K041614	#0D111B	K254308	#893040
K051497	#100F15	K254310	#F3F0F0

Supplimentary Table 1. Common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) genetic resource list and matched HTML color codes (Continued).

IT No.	HTML code	IT No.	HTML code
K051500	#0E121B	K254357	#E8C6A1
K136865	#CCC2BA	K254425	#F3F2F1
K136875	#080B14	K254436	#324455
K136937	#10171D	K254438	#E53241
K139667	#BBB0AD	K254439	#F2F1EF
K146625	#0E1218	K254449	#C4898F
K146639	#CBC2BC	K254469	#D9B79E
K146826	#5E3C2F	K254478	#E4C8B9
K146879	#C3B6AB	K254479	#262D3E
K150992	#C0B6AC	K254482	#923D4D
K150993	#BCB1AD	K254494	#D8BCAE
K150994	#C4BBAF	K254495	#EBCDBD
K150996	#832E1A	K254497	#D286A0
K150999	#C7BAAC	K254498	#84253A
K151108	#A2856F	K254509	#9A374D
K151111	#8F4B37	K254518	#D87A82
K151113	#87393A	K254519	#BB7177
K151114	#9D7A64	K254532	#EABDA1
K151116	#C3B8B0	K254533	#9A3243
K151117	#967250	K254534	#8F263E