

基于主成分分析和聚类分析不同施氮量对黄瓜产量、品质影响的综合评价

李 燕¹, 王丹丹¹, 齐连芬¹, 张庆银¹, 牛瑞生¹, 侯大山², 师建华^{1*}

(1. 石家庄市农林科学研究院, 石家庄 050041; 2. 石家庄市农业技术推广中心, 石家庄 050051)

摘要:以黄瓜品种“津春3号”为试验材料,应用主成分分析和聚类分析方法研究8个施氮处理 N_1 、 N_2 、 N_3 、 N_4 、 N_5 、 N_6 、 N_7 、 N_8 对单产、维生素C含量、可溶性糖含量、可溶性固形物含量、硝酸盐含量的影响综合评价,明确黄瓜设施栽培条件下最佳施氮量。结果表明:不同施氮处理间的各指标存在显著差异,且指标间存在相关性,根据单一指标或简单指标组合情况不能客观综合评价施氮量对产量和品质的影响;采用主成分分析方法,将6个产量、品质指标转为2个主成分,代表原指标数据88.139%的信息量,通过综合分析评价, N_5 处理的主成分分析得分为15.504,综合得分最高;以主成分分析和聚类分析结果,拟合综合评价得分与施氮水平,当单位面积施氮量为19.12 kg/667 m²时为理论得分最佳施氮量。

关键词:黄瓜;施氮量;主成分分析;聚类分析;综合评价

中图分类号:S642.2

文献标识码:A

文章编号:2096-5877(2022)02-0110-05

The Effects of Different Nitrogen Application Rates on Yield and Comprehensive Evaluation of Cucumber

—Based on Principal Component Analysis and Cluster Analysis

LI Yan¹, WANG Dandan¹, QI Lianfen¹, ZHANG Qingyin¹, NIU Ruisheng¹, HOU Dashan², SHI Jianhua^{1*}

(1. Shijiazhuang Academy of Agricultural and Forestry Sciences, Shijiazhuang 050041; 2. Shijiazhuang Agricultural Technology Extension Center, Shijiazhuang 050051, China)

Abstract: The effects of eight nitrogen treatments on yield per unit area, vitamin C content, soluble sugar content, soluble solid content and nitrate content were studied by principal component analysis and cluster analysis with cucumber variety 'jinchun 3' as the experimental material. The results showed that there were significant differences and correlations among the indicators among different nitrogen application treatments, and the effect of nitrogen application on yield and quality could not be evaluated objectively and comprehensively according to the situation of single index or simple index combination. Principal component analysis (PCA) was used to convert six indexes into two principal components, representing 88.139% of the original index data. Through comprehensive analysis and evaluation, the principal component analysis score of N_5 treatment was 15.504, which owns the highest comprehensive score. The results of principal component analysis and cluster analysis were used to fit the comprehensive evaluation score and nitrogen application level. The optimal nitrogen application rate was 19.12 kg/667 m².

Key words: Cucumber; Nitrogen application; Principal component analysis; Cluster analysis; Comprehensive evaluation

黄瓜是我国设施蔬菜栽培的主要种类之一,市场供需量巨大,其品质直接关系到千家万户的

食品安全^[1]。研究表明施氮量与设施黄瓜的品质和产量息息相关,氮素施用不足会造成黄瓜品质和产量降低;而施氮过量又会使黄瓜品质下降,造成肥料浪费,更会造成硝态氮积累土壤盐渍化、板结等问题^[1-3]。如何减量增效,同时又保证黄瓜品质是当前设施黄瓜施氮研究的重要方向,杨阳、赵青华、徐坤范等研究不同施氮量对设施黄瓜产量及品质的影响发现,不同氮素水平对黄瓜中可溶性糖、有机酸等品质指标的影响不

收稿日期:2019-12-27

基金项目:河北省重大科技成果转化专项(19026517Z);石家庄市农林科学研究院设施蔬菜创新团队(208790016A)

作者简介:李 燕(1984-),女,农艺师,硕士,主要从事设施栽培技术研究。

通讯作者:师建华,女,高级农艺师,E-mail: 13785101151@163.com

同^[2, 4-5];孙晓琦等通过建立氮素与黄瓜风味品质的得分回归方程,提出了最佳施氮方案^[6-7]。

当前研究设施黄瓜氮肥施用量与品质、产量的关系,多集中在黄瓜生长发育规律、养分需求特性等方面,研究中选择多个有关品质、产量性状指标,指标增多会增加分析的复杂性,且不同指标之间可能存在着不同程度的相关,影响选择的效果,因此需要一种能更好进行多性状综合选择的方法。主成分分析和聚类分析方法是先采用降维的分析方法,通过数学运算剔除次要内容保留重要信息,用少量综合指标代替原来多个指标绝大部分信息^[8-9],而聚类分析是对给定对象应用数学方法进行分类^[10-11],该综合评价方法已用于分析蜜橘^[12]、夏橙^[13]、猕猴桃^[14]、苹果^[15]、辣椒^[16]、洋葱^[17]、番茄^[18]、芸豆^[19]等果蔬产品的多样品、多指标的品质分析,并已取得很好效果,采用该方法对黄瓜施氮量与品质、产量的综合评价尚未见报道。

本研究采用主成分分析和聚类分析方法,通过对比8个施氮水平下的黄瓜产量、维生素C含量、可溶性糖含量、可溶性固形物含量等产量和品质指标,进行综合分析研究,判别不同施氮量对黄瓜产量、品质的影响,明确综合俱佳的施氮量,以期对河北省设施黄瓜科学施肥探索更加科学的评价方法,为设施蔬菜生产实现高产、高效、

优质提供科学依据。

1 材料与方 法

1.1 试验地点与供试品种

试验地点在石家庄市灵寿县丰绿冉农业科技有限公司日光温室内,供试土壤容重 $1\ 340\ \text{kg}/\text{m}^3$,营养成分中有机质2.61%,全氮1.8 g/kg,全磷1.193 g/kg,全钾97 g/kg。供试品种为天津市黄瓜研究所培育的“津春3号”,该品种在河北省广泛种植,种植效益表现优良。

1.2 试验设计与管理

2018年2月18日种苗定植在 $15\ \text{cm}\times 30\ \text{cm}\times 30\ \text{cm}$ 的栽培袋中,试验设置 N_1 、 N_2 、 N_3 、 N_4 、 N_5 、 N_6 、 N_7 、 N_8 8个不同施氮处理。由于当地长期实际生产中施氮量偏大,因此将 N_8 常规管理施氮量设为最大施氮量,并作为对照。根据多年生产试验经验,将施氮减少梯度细分为5 g/袋,共设置7个梯度,单株全生育期分别施肥20 g、25 g、30 g、35 g、40 g、45 g、50 g、55 g(见表1)。在根瓜坐住后开始分次施入,每11天一次,共施肥8次。氮肥为水溶尿素,随滴灌施入;磷、钾肥采用复合肥(石家庄市复混肥厂,养分含量比例为 $\text{P}_2\text{O}_5:\text{K}_2\text{O}=6:22$),按照当地常规管理施用。每栽培袋土壤为6.2 kg,每个处理100盆,设3次重复,其他措施按照常规管理。

表1 不同处理对应总施氮量

处理	N_1	N_2	N_3	N_4	N_5	N_6	N_7	$N_8(\text{CK})$
单株施氮量(g)	20	25	30	35	40	45	50	55
单位面积折合纯氮($\text{kg}/667\ \text{m}^2$)	9.6	12	14.4	16.8	19.2	21.6	22.4	24.8

1.3 测定指标及方法

单产:电子秤测定每栽培袋中果实质量,折成单位面积产量,计算每处理单产均值。2018年5月15日取新鲜成熟果实样品并测定果实品质指标。维生素C含量:钼蓝比色法测定^[20];可溶性糖含量:蒽酮比色法测定^[20];可溶性固形物含量:手持折光仪测定;可溶性蛋白含量:考马斯亮蓝分光光度法测定;硝酸盐含量:紫外分光光度法测定。

1.4 数据处理及分析

采用Excel 2007和SPSS 20.0进行数据处理及分析。

本研究对不同施氮水平下黄瓜的产量、品质情况涉及的单产、维生素C、可溶性糖、可溶性蛋

白、可溶性固形物、硝酸盐等既独立又相关的数据指标进行分析评价,由于研究指标的量纲对评价体系的影响不同,理论上分析前要对原始数据进行处理转化^[21-22],但目前对于果蔬类产品指标性状还没有统一指标及量纲^[23],本研究在主成分分析过程中,应用SPSS 20.0主成分分析已嵌有的标准化过程进行数据标准化处理;在聚类分析中参与聚类变量的量纲不同,得到的结果会有偏差,因此在聚类分析前,应用SPSS数据处理系统对指标数值进行了标准化处理。

主成分分析用于多指标综合评价可以消除各评价指标间的相关影响,分析过程中经过数学变换生成了信息量权数和系统效应权数^[24]。

设 $X=(X_1, X_2, \dots, X_n)'$ 是n维随机向量,它的线

性变化如下:

$$PC_1 = a_1'X = a_{11}X_1 + a_{21}X_2 + \dots + a_{n1}X_n$$

$$PC_2 = a_2'X = a_{12}X_1 + a_{22}X_2 + \dots + a_{n2}X_n$$

.....

$$PC_n = a_n'X = a_{1n}X_1 + a_{2n}X_2 + \dots + a_{nn}X_n$$

应用SPSS 20.0软件,经过数学变换得到的新变量 PC_1 (第一主成分)替代原来 n 个变量 X_1, X_2, \dots, X_n , PC_1 能在很大程度上反映原变量信息,假如 PC_1 不能够代表原变量的大部分信息,则引入 PC_2 (第二主成分),依次类推,根据各主成分方差累积贡献率确定主成分个数 m ($m < n$)。

$$\text{方差累积贡献率} = \sum_{k=1}^m \lambda_k / \sum_{i=1}^n \lambda_i$$

式中: λ 为各个主成分的特征值; k 为选定的主成分数; i 为全部主成分数。

聚类分析是将物理或抽象对象的诸多特性按照品质特征相似度进行分组的多个类的分析过程。聚类分析最终按照类别的多个综合性质聚合,从而实现聚类分析过程^[25]。

2 结果与分析

2.1 指标差异分析

采用邓肯新复极差法对黄瓜不同施氮处理的产量及主要品质指标性状进行差异性分析,在0.05水平上,各指标都存在显著差异,其中 N_5 在产量、可溶性蛋白、可溶性固形物指标最高,分别为11 210.0 kg/667 m²、127.2 μg/g、3.89%; N_8 维生素C、硝酸盐含量最高,分别为1.15 mg/100 g、142.3 μg/g; N_4 可溶性糖含量最高,为13.12 mg/g(见表2)。

表2 不同处理的黄瓜产量品质指标情况表

处理	产量(kg/667 m ²)	维生素C(mg/100 g)	可溶性糖(mg/g)	可溶性蛋白(μg/g)	可溶性固形物(%)	硝酸盐(μg/g)
N_1	7 521.1±204.27d	0.71±0.03d	9.81±0.06e	80.6±0.37g	3.25±0.06e	97.5±0.83g
N_2	8 615.9±182.45c	0.73±0.02d	10.80±0.05d	85.9±0.09f	3.05±0.09f	98.6±0.70g
N_3	9 965.9±316.48b	0.73±0.02d	11.22±0.11c	110.5±2.11d	3.62±0.07b	103.2±2.14f
N_4	11 056.0±364.60a	0.81±0.03c	13.12±0.12a	126.5±2.01a	3.86±0.07a	110.4±2.71e
N_5	11 210.0±447.44a	0.82±0.03c	12.73±0.11b	127.2±1.78a	3.89±0.07a	115.5±1.97d
N_6	10 021.0±317.06b	0.92±0.03b	11.31±0.14c	120.8±4.44b	3.32±0.12de	125.6±2.04c
N_7	9 832.0±98.22b	0.94±0.04b	10.92±0.06d	115.4±3.61c	3.45±0.09cd	131.2±3.48b
N_8 (CK)	8 523.0±152.56c	1.15±0.04a	9.83±0.10e	96.2±1.83e	3.56±0.12bc	142.3±3.04a

注:同列小写字母不同表示差异显著($P < 0.05$)

2.2 相关性分析

由表3可知,黄瓜单产与可溶性糖、可溶性蛋白、可溶性固形物相关性较高,维生素C与硝酸盐

相关性较高,可溶性糖与可溶性蛋白、可溶性固形物相关性较高,可溶性蛋白与可溶性固形物存在较高相关性。

表3 黄瓜产量、品质指标相关矩阵情况表

	单产	维生素C	可溶性糖	可溶性蛋白	可溶性固形物	硝酸盐
单产	1					
维生素C	-0.010 51	1				
可溶性糖	0.928 17	-0.249 79	1			
可溶性蛋白	0.963 022	0.153 419	0.833 903	1		
可溶性固形物	0.763 242	0.162 628	0.703 449	0.747 962	1	
硝酸盐	0.144 748	0.970 291	-0.133 58	0.323 909	0.233 905	1

综合对黄瓜不同施氮水平下,产量和品质单因素方差分析和相关性分析结果可知,不同施氮水平下各指标存在很大差异,然而由于指标性状较多,测定各指标体现着不同施氮水平的不同效果,且指标间存在着不同程度的相关性,产量和品质的评价分析中难以体现,需要对其进行综合分析评价。

2.3 主成分分析

2.3.1 主成分分析的适宜性检验

对不同施氮处理的黄瓜产量品质指标数据进行KMO和Bartlett球形检验,KMO度量值为0.638,当KMO取值大于0.6,且 P 值小于0.05时,说明各指标具有较强的关联性,数据可适用主成分分析方法处理^[23](见表4)。

表4 KMO和Bartlett的检验情况表

检验指标	检验值
取样足够度的 Kaiser-Meyer-Olkin 度量	0.638
Bartlett 的球形度检验近似卡方	39.366
df	15
Sig.	0.001

2.3.2 主成分因子选择

经主成分分析得到6个主成分的特征值、贡献率和累积贡献率(见表5)。第一主成分PC₁的特征值为3.294,方差贡献率为54.904%,第二主成分PC₂的特征值为1.994,方差贡献率为33.236%,前两个主成分累积贡献率达到88.139%,前两项主成分可以表达原始数据提供信息的85%以上,即前两项主成分信息可以反映原始数据包含的信息^[26-29],因此选取前两个主成分作为综合评价指标。

表5 主成分的特征值、贡献率和累积贡献率情况表

	PC ₁	PC ₂	PC ₃	PC ₄	PC ₅	PC ₆
特征值	3.294	1.994	0.602	0.074	0.025	0.011
贡献率(%)	54.904	33.236	10.03	1.239	0.408	0.182
累积贡献率(%)	54.904	88.139	98.17	99.409	99.818	100

注:PC₁~PC₆分别表示第一至第六主成分,下同

在第一主成分中(PC₁),可溶性糖、单产、可溶性蛋白、可溶性固形物都有较大的正系数值,即第一主成分大时,可溶性糖、单产、可溶性蛋白、可溶性固形物也变大,说明第一主成分主要反映了黄瓜的可溶性糖、单产、可溶性蛋白、可溶性固形物的产量品质特性(见表6)。

在第二主成分中(PC₂),硝酸盐、维生素C都有较大的正系数值,即第二主成分大时,硝酸盐、

维生素C含量升高,说明第二主成分主要反映黄瓜的硝酸盐、维生素C的品质特性(见表6)。

表6 主成分载荷矩阵情况表

主成分	可溶性糖	单产	可溶性蛋白	可溶性固形物	硝酸盐	维生素C
PC ₁	0.969	0.961	0.887	0.723	-0.005	0.087
PC ₂	-0.125	0.166	0.346	-0.080	0.992	0.977

2.3.3 综合评价

由主成分因子得分系数矩阵(表7)得到成分因子得分模型为:

$$F_1=0.299 \times \text{单产} - 0.027 \times \text{维生素 C} + 0.318 \times \text{可溶性糖} + 0.265 \times \text{可溶性蛋白} + 0.237 \times \text{可溶性固形物} - 0.057 \times \text{硝酸盐}$$

$$F_2=0.027 \times \text{单产} + 0.468 \times \text{维生素 C} - 0.115 \times \text{可溶性糖} + 0.118 \times \text{可溶性蛋白} - 0.079 \times \text{可溶性固形物} + 0.481 \times \text{硝酸盐}$$

表7 主成分得分系数情况表

主成分	单产	维生素C	可溶性糖	可溶性蛋白	可溶性固形物	硝酸盐
PC ₁	0.299	-0.027	0.318	0.265	0.237	-0.057
PC ₂	0.027	0.468	-0.115	0.118	-0.079	0.481

以各成分对应方差贡献率为权重,根据主成分得分和对应的权重线性加权求和得到主成分的综合得分模型为:

$$F=0.549 \times F_1 + 0.332 \times F_2$$

通过主成分分析模型对8个不同施氮量黄瓜品质进行评价和排序,综合得分由高到低的顺序为:N₅、N₄、N₆、N₃、N₇、N₂、N₈、N₁(见表8)。

表8 主成分分析综合得分情况表

处理	N ₁	N ₂	N ₃	N ₄	N ₅	N ₆	N ₇	N ₈
综合得分	10.422	11.908	13.779	15.289	15.504	13.901	13.644	11.858
排名	8	6	4	2	1	3	5	7

2.4 黄瓜不同施氮量的聚类分析

基于8个施氮水平各指标利用SPSS 20.0采取组间联接法进行聚类分析,并绘制树状图(见图1)。在欧氏距离5处,8种施氮量的评价结果分成五类,第I类N₆、N₇;第II类N₈;第III类N₄、N₅;第IV类N₃;第V类N₁、N₂。其中第III类的N₅、N₄其产量、可溶性糖、可溶性蛋白、可溶性固形物四个指标表现俱佳为第一档,此四个指标由主成分PC₁反映,主成分分析综合得分排名第一和第二;第I类的N₆、N₇为第二档,第II类的N₈为第三档,第

IV类的N₃为第四档,第V类N₁、N₂为第五档,这与主成分得分分析结果一致。

3 结论与讨论

研究结果显示,不同施氮量黄瓜的产量、品质指标存在显著差异,依据单一指标或简单指标组合不能客观综合评价施氮多少对产量、品质的影响,而通过主成分降维处理,将原有6个指标转化为2个主成分,依据成分方差累积贡献率数据,确定2个主成分保有原信息88.139%的信息量,依据

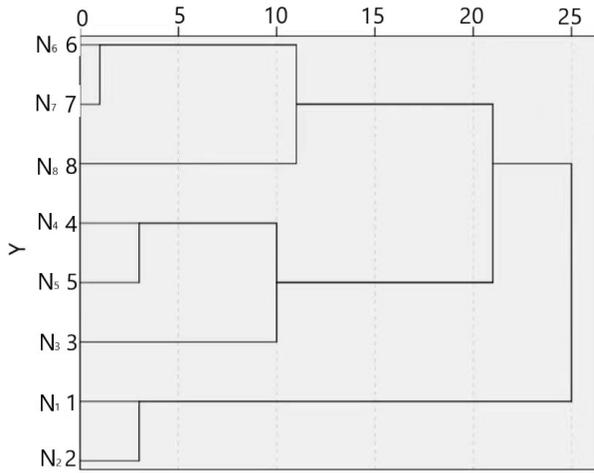


图1 不同施氮量评价结果的聚类分析图

得分系数得到主成分因子模型和综合得分模型。通过综合分析确定N₅的综合得分最高为15.504,说明N₅处理为试验各处理的最佳施氮水平。

将8个施氮水平下产量、品质指标聚类分析后结果分为五类,每一类依据各指标情况聚类,其中第Ⅲ类N₅、N₄为一档,主成分分析得分为15.504、15.289,排名第一、第二,其他施氮水平处理聚类情况也与各自综合评价得分情况一致,说明主成分分析评价得分,客观反映出分析指标的综合情况。

试验设计按照一定单位施氮水平设置处理梯度,N₅、N₄得分属于一类别,其得分最高,而常规施氮量N₈的得分最低,比较说明当地常规管理施氮量偏高,已超过实际需要氮量;N₅得分最高,但通过对主成分分析得分和施氮水平数据拟合趋势曲线图发现(见图2),综合得分最高点在N₅左侧,依

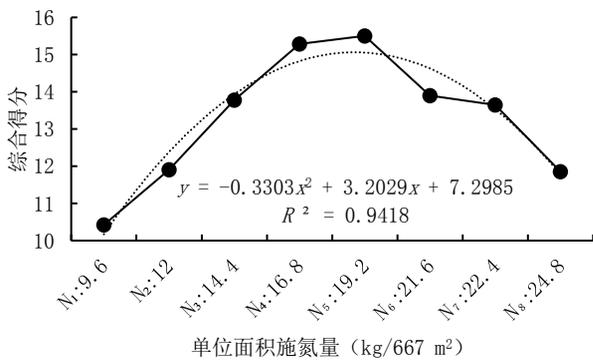


图2 黄瓜施氮量与主成分分析得分拟合关系

据得分和施氮水平拟合模型 $y = -0.3303x^2 + 3.2029x + 7.2985$ ($R^2 = 0.9418$),计算趋势线最高点得最大得分点施氮量为19.12 kg/667 m²。

通过对黄瓜施氮水平下产量、品质各性状指标的差异分析、主成分分析和聚类分析,得到综合评价得分,构建设施黄瓜栽培的施氮综合评价

体系,由于考虑到本研究中针对黄瓜的主要产量、果实性状进行分析,指标还不够全面,果实品质性状综合评价还应考虑抗逆性、适应性、耐贮性等因素,后续还需进行更全面、更深入的研究。

参考文献:

[1] 文俊玲,于喜艳.不同施肥处理对温室越冬茬嫁接黄瓜产量和品质的影响[J].山东农业科学,2010(4):71-74.

[2] 杨阳,宋炳彦,刘云,等.不同追氮量对设施黄瓜产量及品质的影响[J].华北农学报,2017,32(S1):256-259.

[3] 蒋静静,屈锋,苏春杰,等.不同肥水耦合对黄瓜产量品质及肥料偏生产力的影响[J].中国农业科学,2019,52(1):86-97.

[4] 赵青华,王金芬,胡焕平.氮素水平对日光温室黄瓜品质的影响[J].北方园艺,2007(6):13-14.

[5] 徐坤范,艾希珍,张晓慧,等.氮素水平对日光温室黄瓜品质的影响[J].西北农业学报,2005(1):162-166.

[6] 孙晓琦,陈茂学,杜栋良,等.氮、钾营养对日光温室黄瓜风味品质的影响[J].内蒙古农业大学学报(自然科学版),2007(3):182-190.

[7] 王柳,张福曼,魏秀菊.不同氮肥水平对日光温室黄瓜品质和产量的影响[J].农业工程学报,2007(12):225-229.

[8] Vainionpaa J, Smolander M, Alakomi H L, et al. Comparison of different analytical methods in the monitoring of the quality of modified atmosphere packaged broiler chicken cuts using principal component analysis [J].Journal of Food Engineering, 2004,65(2): 273-280.

[9] 蔡晓洋,张思获,曾俊,等.基于主成分分析和聚类分析的椴子种质资源评价[J].中国实验方剂学杂志,2017,23(14):30-37.

[10] 许丽利.聚类分析的算法及应用[D].长春:吉林大学,2010.

[11] 郝丽宁,陈书霞,刘拉平,等.不同基因型黄瓜果实香气组成的主成分分析和聚类分析[J].西北农业学报,2013(5):101-108.

[12] 倪志华,张思思,辜青青,等.基于多元统计法的南丰蜜橘品质评价指标的选择[J].果树学报,2011,28(5):918-923.

[13] 张海英,韩涛,王有年,等.桃果实品质评价因子的选择[J].农业工程学报,2006(8):235-239.

[14] 傅隆生,宋思哲,邵玉玲,等.基于主成分分析和聚类分析的海沃德猕猴桃品质指标综合评价[J].食品科学,2014,35(19):6-10.

[15] 公丽艳,孟宪军,刘乃侨,等.基于主成分与聚类分析的苹果加工品质评价[J].农业工程学报,2014(13):276-285.

[16] 赫卫,张慧,董延龙,等.辣椒种质资源形态学性状相关性、主成分与聚类分析[J].北方园艺,2018(4):9-17.

[17] 陈沁滨,侯喜林,张波,等.洋葱种质资源数量性状的主成分分析和聚类分析[J].江苏农业学报,2007,23(4):376-378.

[18] 张紫薇,李景富,姜景彬,等.番茄果实性状的主成分聚类分析及综合评价[J].北方园艺,2018(11):27-37.

[19] 于莉,张时龙,李清超,等.主成分分析在芸豆品种筛选中的应用[J].东北农业科学,2016,41(1):91-96.

[20] 李合生.植物生理生化实验原理和技术[M].北京:高等教育出版社,2000:106-107.

花色苷的对应关系。综合分析可知,可以区分出花色苷含量丰富的“比洛克西”和“莱格西”两大类蓝莓品种。根据不同种类的花色苷组成分析可知,除飞燕草葡萄糖苷外,其余9种花色苷在蓝莓果实中的含量极为丰富,可以区分出6个品种蓝莓中极为丰富的一大类花色苷。综上可知,花色苷可以作为化学指纹来区分6个不同品种的蓝莓,以期筛选和培育优质蓝莓品种提供理论支撑。

参考文献:

- [1] 刘翼翔,吴永沛,刘光明,等.野生蓝莓酚酸成分鉴定及其清除细胞内自由基活性研究[J].中国食品学报,2015(12):173-179.
- [2] 谢国芳,王 瑞,周笑犁,等.蓝莓花色苷稳定性研究进展[J].北方园艺,2016(7):190-194.
- [3] 程佑声,王鸿飞,许 凤,等.蓝莓皮渣花色苷提取及抗氧化活性的研究[J].果树学报,2015,32(4):696-704.
- [4] Somerset S M, Johannot L. Dietary flavonoid sources in Australian adults[J]. Nutrition & Cancer, 2008, 60(4): 442-449.
- [5] Hosseinian F S, Beta T. Saskatoon and wild blueberry have higher anthocyanin contents than other Manitoba berries[J]. Agricultural and Food Chemistry, 2007, 55(26): 10832-10838.
- [6] Harris C S, Burt A J, Saleem A, et al. A single HPLC-PAD-APCI/MS method for the quantitative comparison of phenolic compounds found in leaf, stem, root and fruit extracts of *Vaccinium angustifolium*[J]. Phytochemical Analysis, 2007, 18(2): 161-169.
- [7] 杨晓慧,陈为凯,何 非,等.5个红色酿酒葡萄品种花色苷组成差异分析[J].西北农业学报,2017,26(11):1648-1654.
- [8] Gong J, Huang J, Xiao G, et al. Antioxidant capacities of bamboo shaving extract and their antioxidant components[J]. Molecules, 2016, 21(8): 996.
- [9] 林恋竹,赵谋明.反应时间对 DPPH·法、ABTS⁺·法评价抗氧化性结果的影响[J].食品科学,2010,31(5):63-67.
- [10] Liu X, Chen Y, Wu L, et al. Optimization of polysaccharides extraction from *Dictyophora indusiata* and determination of its antioxidant activity[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2017, 103(4): 175.
- [11] 谢国芳,王新华,王 瑞,等.贵州主栽蓝莓品种活性成分及其抗氧化活性评价[J].食品与发酵工业,2017,43(2):180-183.
- [12] 朱金艳,王月华,张建丽,等.不同品种蓝莓果的营养成分及花色苷种类研究[J].食品科学,2016,37(5):10-15.
- [13] 李晓英,薛 梅,樊汶樵.蓝莓花、茎、叶酚类物质含量及其抗氧化活性比较[J].食品科学,2017,38(3):142-147.

(责任编辑:王丝语)

(上接第114页)

- [21] Khan N, Mukhtar H. Modulation of signaling pathways in prostate cancer by green tea polyphenols[J]. Biochemical Pharmacology, 2013, 85(5): 667-672.
- [22] 陈 璐,廖光联,杨 聪,等.基于主成分分析与聚类分析的黄肉猕猴桃品种(系)主要果实性状的综合评价[J].江西农业大学学报,2018,40(6):1231-1240.
- [23] 徐臣善,高东升.基于主成分分析的设施桃果实品质综合评价[J].食品工业科技,2014,35(23):84-88,94.
- [24] 林海明,杜子芳.主成分分析综合评价应该注意的问题[J].统计研究,2013,30(8):25-31.
- [25] 高惠璇.应用多元统计分析[M].北京:北京大学出版社,2005:215-216.
- [26] 杜 强,贾丽艳.SPSS统计分析从入门到精通[M].北京:人民邮电出版社,2009:145-147.
- [27] 程晓明,程婧晔,胡文静,等.23个小麦品种春化特性主成分分析及聚类分析[J].江苏农业科学,2019,47(8):64-68.
- [28] 李桂萍,张根生,巴青松,等.杂种小麦品质性状的性状相关和主成分分析[J].浙江农业学报,2016,28(9):1447-1453.
- [29] 吴 澎,贾朝爽,范苏仪,等.樱桃品种果实品质因子主成分分析及模糊综合评价[J].农业工程学报,2018,34(17):291-300.

(责任编辑:刘洪霞)