广东农业科学 2019，46（8）：29-34
Guangdong Agricultural Sciences doi：10.16768/j.issn.1004-874X.2019.08.005

何丽烂，李树营，李学文，喻敏，王惠珍. 红花紫荚矮秆豌豆品种的选育［J］. 广东农业科学，2019，46（8）：29-34.

红花紫荚矮秆豌豆品种的选育

何丽烂，李树营，李学文，喻　敏，王惠珍
（佛山科学技术学院食品科学与工程学院，广东 佛山 528000）

摘　要：【目的】通过红花紫荚高秆豌豆品种 Cv 13 和白花绿荚矮秆豌豆品种 Cv 4 两个亲本，选育适合在广东种植、兼具观赏和食用价值的红花紫荚矮秆豌豆新品种。【方法】以豌豆品种 Cv 13 和 Cv 4 为亲本，通过正反交获得 F_1 代后，再次种植，以红花、紫荚和矮秆 3 个性状为选育目标，从 F_2 杂交后代中筛选红花紫荚矮秆豌豆新品种。【结果】在品种选育过程中发现，高秆相对于矮秆为显性性状，符合孟德尔遗传定律的分离规律；荚色与花色有关，红花对应紫荚，白花对应绿荚，而荚色由质量性状控制。通过对 F_2 代筛选得到两个红花紫荚矮秆豌豆新品种，命名为 1 号和 2 号，对其相关表型和品质进行分析发现：1 号株高 94.00 cm，开红花结紫荚，花青素相对含量 0.65；2 号株高 90.00 cm，开红花结紫荚，花青素相对含量 0.34。【结论】1 号和 2 号均是红花紫荚矮秆豌豆新品种，兼具观赏和食用价值，其中 1 号花青素含量相对较高、营养价值更高。

关键词：豌豆；杂交育种；红花；紫荚；矮秆；花青素
中图分类号：S642.2　　**文献标志码**：A　　**文章编号**：1004-874X（2019）08-0029-06

Selection of Dwarf Varieties of Pea with Red Flower and Purple Pod

HE Lican, LI Shuying, LI Xuewen, YU Min, WANG Huizhen
（*School of Food Science and Engineering, Foshan University, Foshan* 528000, *China*）

Abstract:【Objective】Two cultivars of pea (*Pisum sativum* L.), Cv 13 (with red flowers, purple pods and high stalk) and Cv 4 (with white flowers, green pods and dwarf), were used as parents to breed new dwarf varieties of pea with red flowers and purple pods, suitable to be cultivated in Guangdong with ornamental and edible values.【Method】With Cv 13 and Cv 4 as parents, the F_1 generation was obtained through reciprocal crosses. After being replanted, a new dwarf variety with red flowers and purple pods was screened out from F_2 hybrids with 3 traits of red flower, purple pod and dwarf stalk as breeding objectives.【Result】During the process of variety selection, it was found that high stalk showed dominant character compared to dwarf stalk, which is in accordance with segregation law of Mendel's genetic law. Pod color was related to flower color, of which red flower and white flower corresponded to purple pod and green pod, respectively, and it was controlled by quality traits. Two new dwarf varieties of with red flowers and purple pods were obtained through the selection of F_2 hybrids and named as No. 1 and No. 2. Based on the analysis on relevant phenotype and quality, No. 1 had a plant height of 94.00 cm with red flower and purple pod and the relative content of anthocyanin was 0.65, while No. 2 had a plant height of 90.00 cm with red flower and purple pod and the relative content of anthocyanin was 0.34.【Conclusion】Both No. 1 and No. 2 are new varieties of dwarf pea with red flowers and purple pods, which have high ornamental and edible values. No. 1 has relatively high anthocyanin content and higher nutritional value.

Key words: pea; cross breeding; red flower; purple pod; dwarf; anthocyanin

收稿日期：2019-05-17
基金项目：广东省教育厅青年创新人才项目（2018KQNCX286）
作者简介：何丽烂（1972—），女，高级实验师，研究方向为植物生理，E-mail：469987752@qq.com
通信作者：王惠珍（1963—），女，硕士，副教授，研究方向为植物生理，E-mail：1326006982@qq.com

【研究意义】豌豆（*Pisum sativum* L.），豆科蝶形花亚科野豌豆族豌豆属，1 年生或 2 年生茎缠绕或攀援草本植物，为世界第二大食用豆类作物[1-2]，由于豌豆兼有粮、菜、饲、肥功能，适应性强、用途广泛、营养丰富，越来越受到生产者和消费者的青睐，种植面积不断扩大[16]。菜用豌豆因富含氨基酸、维生素、蛋白质等营养物质，是目前国内外畅销的优质蔬菜种类[3-6]。【前人研究进展】国内菜用豌豆的育种工作相对起步较晚，于 20 世纪 80 年代开始菜用豌豆的引种试种工作，如从美国引进的甜豌豆资源中选育出的京豌 1 号、广东省农业科学院蔬菜研究所选育的甜豌豆品种粤甜豆 1 号[15]、汕头市白沙蔬菜原种研究所引进的耐热早熟型豌豆品种白沙 1 号[14]等。豌豆大多为白花绿荚，我国也选育了一些具有特色的品种，如江苏省农业科学院选育的赤花绿荚，而紫荚豌豆的选育在国内少有报道。随着人们消费观念的改变和对健康饮食的重视，紫色蔬菜由于富含花青素及其他酚类成分而备受关注[17-18]。花青素是一类水溶性天然色素，也是紫色蔬菜中主要呈色物质，属黄酮类化合物[10-11]，是一种强自由基清除剂，具有降血糖、抗氧化和预防疾病等多种保健功能[12]。我国常见紫色蔬菜主要有紫甘蓝[19]、紫茄[20]、紫薯[13]等。紫荚豌豆作为菜用豌豆的优异品种，具有非常高的营养价值和观赏价值[7-9]，亟待开展紫荚豌豆的引种育种工作。【本研究切入点】前期本课题组从英国引进了多个豌豆品种，其中有一个为开红花结紫荚的高秆品种，编号为 Cv 13，该品种具有红花紫荚优良性状，为国内豌豆品种所缺乏的，值得在国内引种栽种。然而，该品种抗寒性较弱、高秆需要搭架；同时，课题组有一个白花、绿荚、矮秆的高产豌豆品种，编号为 Cv 4。【拟解决的关键问题】我们将利用 Cv 13 和 Cv 4 两个豌豆品种，分别以紫花紫荚品种作为母本（正交）和父本（反交）进行杂交育种，从而选育出 1 号和 2 号豌豆新品种，两个品种均开紫红花，结紫红色豆荚，色彩较为鲜艳，在开花期和结荚期既可供观赏，还可以食用（花荚含丰富的花青素），具有一定的观赏性和营养价值，能够满足人们对鲜食紫荚豌豆和观赏矮秆紫荚豌豆的需求。

1 材料与方法

1.1 亲本特征特性

本试验采用的豌豆品种均从英国引进，分别编号 Cv 13 和 Cv 4，Cv 13 品种表现为红花、紫荚、高秆，Cv 4 品种表现为白花、绿荚、矮秆。

1.2 选育过程

本试验于 2012—2015 年在佛山科学技术学院仙溪校区试验地进行。该试验地质地为轻壤土，pH 值为 5.8，有机质含量为 30.6 g/kg，速效钾 24.05 mg/kg，速效氮 46.32 mg/kg，速效磷 25.78 mg/kg，全氮 1.74 g/kg，全钾 1.404 g/kg，全磷 0.658 g/kg。播种采用分畦单粒方式，每畦 1 行，行距 30 cm、株距 25 cm，每穴 3 粒；定苗 1 株。在播种前施有机肥（鸡粪）1 次，苗期追肥（复合肥）1 次，豌豆生长期间进行常规的田间栽培管理。具体选育过程（图 1）为：2012 年秋冬季进行杂交试验，正交：Cv 13（♀）×Cv 4（♂），Cv 13 为母本；反交：Cv 4（♀）×Cv 13（♂），Cv 4 为母本。在选定适宜的杂交花后，用镊子分别剥开花瓣后将花粉粒逐一取出，然后在雌蕊柱头上涂抹花粉，授粉后将花蕾复原[6, 13]。2013 年春季获得 F_1 代，同年秋冬季对 F_1 代进行种植，以红花、紫荚、矮秆为目标，在 F_1 代中进行选择和单株留种，于 2014 年对 F_2 代再次进行种植，以株系表现为稳定性好、双荚率高、品质好、产量较高的进行留种。

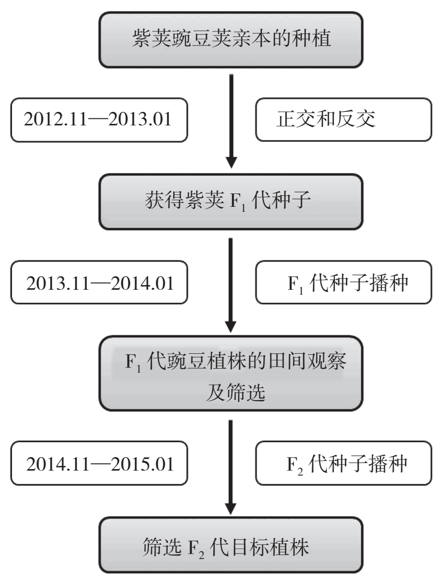

图 1 选育过程
Fig. 1 Process of breeding

1.3 豌豆亲本和选育品种的生理指标及株高等性状测定

在田间随机选取 5 株成熟期（开花结荚期）植株，从地面起测量株高（cm）。在收获的成熟豆荚中，随机选取20个，用直尺测量其荚长、荚宽，精度为 0.1 cm。在收获的成熟种子中，随机选取20粒，用游标卡尺测量其粒长、粒宽，精度为0.02 cm。随机选取 100 粒种子，用分析天平称重即为百粒重（g），重复 3 次。

在测定嫩果荚花青素苷含量时参照 WEISS 等[9]的方法，具体操作时略作改动。随机选取嫩果荚 20 个，剪碎后称取 1 g，用 5 mL 含 1% 盐酸的甲醇在 4℃条件下浸提 4 h，离心后取上清液，之后用 722 分光光度计测定上清液在 530 nm 和 657 nm 处的光吸收值。花青素相对含量（A）计算如下：

$$A = A_{530}-0.25_{A657}$$

以 A 值来衡量果荚中花青素含量高低。

2 结果与分析

2.1 豌豆亲本生育期的主要性状特征

不同亲本不同生育期外观性状和田间表型如图 2 所示，Cv 13 株高很高，呈高秆红花紫荚亲本；

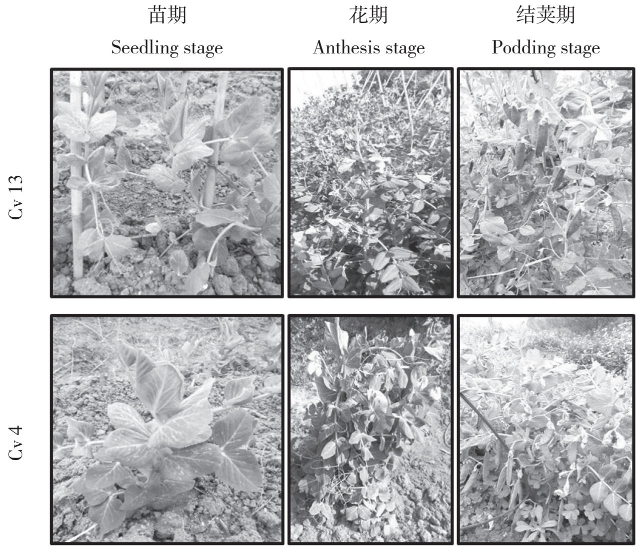

图 2 豌豆亲本在不同生育期的田间表型
Fig. 2 Field phenotypes of pea parents at different growth stages

Cv 4 株高较矮，呈白花绿荚矮秆豌豆亲本。表 1 显示，亲本 Cv 13 株高约 2 m，开红紫花，结紫荚，荚长达 7 cm 以上、荚宽近 1 cm，籽粒大小适中，百粒重为 16.15 g。亲本 Cv 4 株高约 90 cm，开白花，结绿荚，叶茎肥硕，豆荚长且宽，荚长平均达 8.4 cm、荚宽可达 1.2 cm，粒大，百粒重可达 31.36 g。

表 1 豌豆亲本植株性状特征比较
Table 1 Comparison of key traits between pea parents

亲本 Parents	株高 Plant height（cm）	花色 Flower color	荚色 Pod color	粒色 Grain color	荚长 Length of pod（cm）	荚宽 Width of pod（cm）	粒长 Length of grain（cm）	粒宽 Width of grain（cm）	百粒重 100-grain weight（g）
Cv 13	210	紫红	紫红	褐色	7.76	0.97	0.777	0.618	16.15
Cv 4	90	白色	绿色	绿色	8.40	1.20	0.998	0.815	31.36

2.2 豌豆杂交 F_1 代种子和植株的田间观察和筛选

2012 年 11 月分期播种了亲本 Cv 13 和 Cv 4 豌豆品种，2012 年 12 月底至 2013 年 2 月初的开花期进行去雄、授粉工作，2013 年 4—5 月分别收获杂交 F_1 代种子，正交和反交所收获的杂交种子情况见表 2。表 2 显示，正交 Cv 13（♀）×Cv 4（♂）F_1 代种子以褐色为多，反交 Cv 4（♀）×Cv 13（♂）F_1 代种子也以褐色为多。共收获杂交种子 1 519 粒，按种子色泽和饱满程度将其分类，挑选出褐色饱满的作为第 2 年杂交后代的繁育种子，F_1 代植株在苗期、花期和结荚期田间表现如图 3 所示。无论正交或反交所得到 F_1 代植株均表现为高秆、开红花，说明高秆、红花均是显性性状。从结荚期可以看出，正交和反交的 F_1 代植株的荚色基本上为紫色，但颜色深浅不同，正交（即以 Cv 13 紫花紫荚为母本）荚色要深于反交 F_1 代植株。荚色性状表现（紫色和绿色）为不完全显性关系。综上所述，株高性状高秆对矮秆为显性，花色红花对白花为显性，但荚色性状不完全由质量性状控制，所以 F_1 代植株的荚色表现为紫色、浅紫色和绿色。无论 Cv 13（♀）×Cv 4（♂）还是 Cv 4（♀）×Cv 13（♂），其后代基本上表现为高秆、红花、紫荚。

表 2　豌豆正交和反交所获杂交种子色泽和饱满度比较
Table 2　Comparasion of color and fullness of hybrid pea seeds obtained by reciprocal cross

杂交组合 Hybrid combination	褐色饱满 Brown & Full	褐色不饱满 Brown & Not-full	绿色饱满 Green & Full	绿色不饱满 Green & Not-full	总粒数 Total grain number
Cv 13（♀）× Cv 4（♂）	213	135	25	5	378
Cv 4（♀）× Cv 13（♂）	1076	21	44	0	1141
总粒数 Total grain number	1289	156	69	5	1519

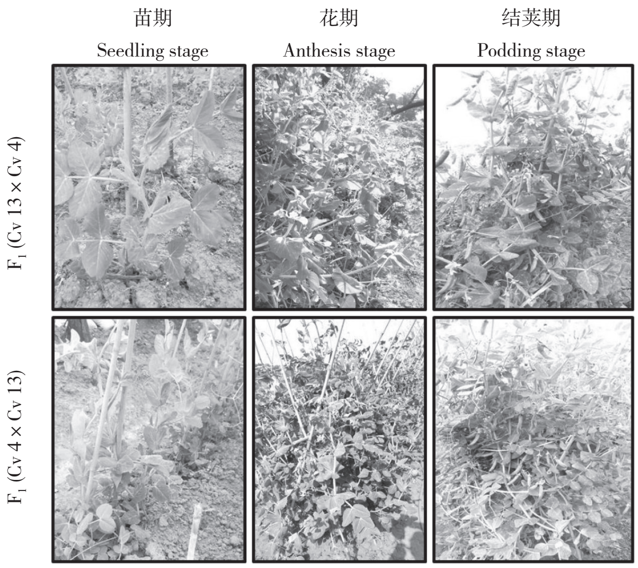

图 3　豌豆正交和反交 F_1 代植株不同生育期的田间表现
Fig. 3　Field phenotypes of F_1 generation of pea obtained by reciprocal cross at different stages

2.3　豌豆杂交 F_2 代种子和植株的田间观察和筛选

2014 年 4—6 月分期获得 F_2 代杂交种子，分别选取荚色为特紫色和紫色的。挑选出结实饱满的种子，干燥后进行称重。杂交 F_2 代种子收获情况见表 3。共收获了杂交 F_2 代种子 10 152 g，其中紫荚种子 10 072 g，特紫荚的 80 g。

表 3　2014 年豌豆杂交 F_2 代种子收获情况
Table 3　Harvest of F_2 generation of pea in 2014

杂交组合 Hybrid combination	特紫荚 Dark purple pod（g）	紫荚 Purple pod（g）	紫粒（粒）Purple grain（grain）
正交 Cv 13（♀）× Cv 4（♂）	80	2626	26
反交 Cv 4（♀）× Cv 13（♂）	0	7446	186
合计 Total	80	10072	212

选取正交与反交获得的 F_2 代种子中紫荚和紫粒豌豆，于 2014 年 10 月 30 日播种于试验地，单株栽培，分别在豌豆苗期、开花期和结荚期进行株高、花色、荚色和荚形等观察筛选。如图 4 所示，不同杂交 F_2 代种子播种后所长出的植株为 F_2 代植株，从形态上表现为显性性状和隐性性状的分离。对株高来说，高秆对矮秆为显性，F_2 代植株出现分离，表现为高秆和矮秆两种，红花对白花为显性，分离比为 3 ∶ 1，均符合孟德尔遗传定律的分离规律。但荚色的性状不完全由质量性状控制，所以 F_2 代植株的荚色表现为紫色、浅紫色和绿色。株高、花色和荚色的性状还出现重新组合现象。本试验发现开红花的一般会结紫荚，开白花的一定是绿荚。我们将 Cv 13（♀）×Cv 4（♂）和 Cv 4（♀）×Cv 13（♂）杂交组合的 F_2 代植株的性状归为高红紫、矮红紫、高白绿和矮白绿 4 个类型，分离比符合两对相对性状自由组合规律。

高红紫：高秆、红花、紫荚，比例较高，约 9/16。

矮红紫：矮秆、红花、紫荚，比例中等，约 3/16。这是选育目标，选取株型好、结荚多、结荚紫色（深紫色）进行单株收获，作为矮秆紫荚豌豆的优良株系，从正交 Cv 13（♀）×Cv 4（♂）选出的优良株系，初定名为 1 号。从反交 Cv 4（♀）×Cv 13（♂）选出的优良株系，初定名为 2 号。1 号和 2 号株系的花期和结荚期田间表现如图 4。

高白绿：高秆、白花、绿荚，比例中等，约 3/16。

矮白绿：矮秆、白花、绿荚，比例很少，约 1/16。

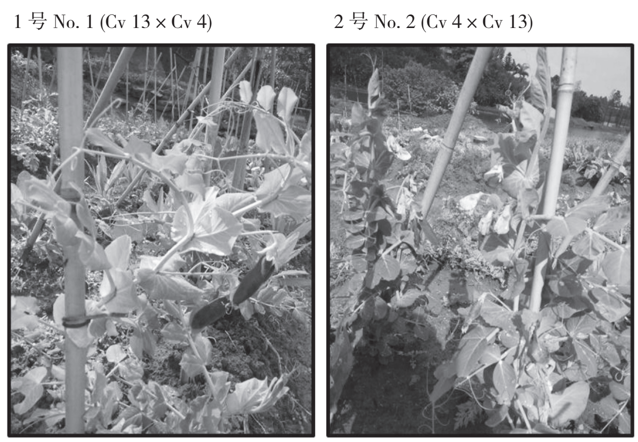

图 4　豌豆 1 号和 2 号株系植株花期和结荚期的田间表现
Fig. 4　Field phenotypes of No. 1 and No. 2 plants during anthesis and podding stages

2.4 矮秆红花紫荚豌豆新品种 1 号和 2 号的性状比较

从表 3 可以看出，矮秆红花紫荚品种 1 号和 2 号的株高均表现为矮秆，为隐性性状；花色表现为红花，为显性性状；荚色表现为紫色，为不完全显性性状或数量性状。1 号和 2 号嫩荚的花青素相对含量为 0.652 和 0.347，虽然低于红花紫荚亲本 Cv 13 品种，但是显著高于白花绿荚亲本品种，可以确定为紫荚豌豆新品种。1 号果荚长度 7.03 cm，显著短于 2 个亲本的荚长；2 号果荚长度 7.39 cm，也短于 2 个亲本的荚长，与母本 Cv 4 品种存在显著差异。1 号和 2 号的荚宽介于 2 个亲本之间，虽然大于紫荚亲本 Cv 13 品种（差异不显著），但短于 Cv 4 的大荚品种（差异显著）。1 号和 2 号的粒长也介于 2 个亲本之间，差异达到显著水平；2 个新品种的粒宽也存在显著差异，其粒宽与母本相关，以小粒品种 Cv 13 作母本的粒宽相对较小，以大粒品种 Cv 4 作母本的粒宽相对较大。1 号和 2 号百粒重分别为 22.65 g 和 23.11 g，介于 2 个亲本之间，显著高于小粒品种 Cv 13，但低于大粒品种 Cv 4。

表 3 豌豆新品种 1 号和 2 号的性状比较

Table 3 Comparison of morphological characters of the new lines of pea No. 1 and No. 2

品种 Name	株高 Plant height（cm）	花色 Flower color	荚色 Pod color	花青素相对含量 Relative content of anthocyanin	荚长 Length of pod（cm）	荚宽 Width of pod（cm）	粒长 Length of grain（cm）	粒宽 Width of grain（cm）	百粒重 100-grain weight（g）
1 号 No. 1	94	红	紫	0.65a	7.03a	1.01a	0.87a	0.68b	22.65a
2 号 No. 2	90	红	紫	0.35b	7.39a	1.03a	0.91a	0.77a	23.11a

注：同列数据后小写英文字母不同者表示差异显著。

Note: Different lowercase letters in the same column represent significant difference.

3 讨论

豌豆作为一种重要的兼具粮、菜、饲、肥功能的豆科植物，在我国北方和南方均有种植，其中南方种植的豌豆类型大多以鲜食豌豆为主[16]。国内大多数豌豆品种均为开白花、结绿荚，籽粒呈绿色，很多学者对豌豆品种的选育和改良进行了大量工作。我们前期引进了红花紫荚豌豆品种 Cv 31，籽粒呈紫色，通过总结前人的豌豆田间杂交选育方法，本试验结合矮秆豌豆品种 Cv 4，分别以高秆红花紫荚品种作为母本（正交）和父本（反交）进行去雄、授粉杂交，进行红花紫荚矮秆豌豆新品种的选育工作。

通过对 F_1 和 F_2 代种子及植株的田间表型分析发现，苗期托叶叶腋基部的叶色与花色相关，苗期托叶叶腋基部叶色是红色的，则开红花结紫荚，苗期托叶叶腋基部的叶色是绿色的，则开白花结绿荚，同时还发现花色和豆荚颜色属于连锁性状，开红花则结紫荚，或开白花结绿荚。高秆相对于矮秆属于显性性状，同时符合孟德尔遗传定律的分离定律。花色荚色与株高可看作两对可自由组合和遗传的性状。通过筛选我们得到 2 个红花紫荚矮秆型豌豆品种（1 号和 2 号）。由于试验时间短，后期可能需要对新品种进行进一步筛选和纯化，从而得到遗传稳定的豌豆品种。

4 结论

国内豌豆品种种质资源相对较少，南方豌豆的种植主要以鲜食为主。本试验以红花紫荚高秆豌豆品种 Cv 13 和白花绿荚矮秆豌豆品种 Cv 4 为亲本，通过正反杂交，筛选得到两个红花紫荚矮秆豌豆新品种（1 号和 2 号）。红花紫荚矮秆豌豆品种的选育，为南方鲜食豌豆品种的育种提供了一种新思路。其中 2 号品种花青素含量更高，具有更高的营养价值，可以进一步以 2 号豌豆品种为亲本，选育更适合在南方推广的富含花青素的鲜食豌豆品种。

参考文献（References）：

[1] 张求军，李超，龚辉，方博云.优质高产豌豆品种筛选试验[J].中国农技推广, 2008,24(12):14–15. doi: 10.3969/j.issn.1002–381X.2008.12.007.

ZHANG Q J, LI C, GONG H, FANG B Y. Screening test of high quality and high yield pea varieties[J]. *China Agricultural Technology Extension*, 2008,24(12):14–15. doi: 10.3969/j.issn.1002–381X.2008.12.007.

[2] 贺晨邦，冯钦华.优异豌豆品种鉴定和评价[J].杂粮作物, 2008,28(6):368–369. doi: 10.3969/j.issn.2095–0896.2008.06.011.

HE C B, FENG Q H. Identification and evaluation of excellent pea varieties[J]. *Crops*, 2008,28(6):368–369. doi: 10.3969/

j.issn.2095-0896.2008.06.011.

[3] 张子英 . 推介几个优质豌豆品种[J]. 农村百事通, 2004(15):27-57. doi: 10.19433/j.cnki.1006-9119.2004.15.020.
FENG Z Y. Recommend several high quality pea varieties[J]. *NCBST*, 2004(15):27-57. doi: 10.19433/j.cnki.1006-9119.2004.15.020.

[4] 顾竟, 宗绪晓.豌豆资源遗传多样性及核心种质研究进展[J]. 植物遗传资源学报, 2009,10(2):334-337. doi: 10.13430/j.cnki.jpgr.2009.02.025.
GU J, ZONG X X. Research progress on pisum genetic diversity and core collection[J]. *Journal of Plant Genetic Resources*, 2009,10(2):334-337. doi: 10.13430/j.cnki.jpgr.2009.02.025.

[5] 鲁福成, 张仲国.我国豌豆品种状况及天津豌豆新品种引种[J].天津农学院学报,2002(4):42-45. doi: 10.3969/j.issn.1008-5394.2002.04.010.
LU F C, ZHANG Z G. Current situation of pea (*Pisum sativum* L) varieties in china and introduction of new pea varieties in tianjin[J]. *Journal of Tianjin Agricultural College*, 2002(4):42-45. doi: 10.3969/j.issn.1008-5394.2002.04.010.

[6] 杜成章, 张继君, 张志良, 李泽碧, 王萍 . 豌豆杂交育种新方法探索[J]. 安 徽 农 业 科 学, 2011,39(23):14012-14013. doi: 10.13989/j.cnki.0517-6611.2011.23.197.
DU C Z, ZHANG J J, ZHANG Z L, LI Z B, WANG P. Discussion on the new cross breeding method of pea[J]. *Journal of Anhui Agricultural Science*, 2011, 39(23):14012-14013. doi: 10.13989/j.cnki.0517-6611.2011.23.197.

[7] 王凤宝, 董立峰, 付金锋, 张建华.半无叶型豌豆新品种宝峰东8的选育[J].中国蔬菜, 2004(6):20-22. doi: 10.3969/j.issn.1000-6346.2004.06.008.
WANG F B, DONG L F, FU J F, ZHANG J H. A new pea variety –'Baofengdong 8'[J]. *China Vegetables*, 2004(6):20-22. doi: 10.3969/j.issn.1000-6346.2004.06.008.

[8] 肖琳琳.农作物育种与栽培技术研究[J].农业与技术, 2018,38(14):49. doi: 10.3969/j.issn.1671-962X.2014.12.105.
XIAO L L. Research on crop breeding and cultivation techniques[J]. *Agriculture and Technology*, 2018,38(14):49. doi: 10.3969/j.issn.1671-962X.2014.12.105.

[9] WEISS D, VAN DER LUIT A, KNEGT E, VERMEER E, MOL J N M, KOOTER J M. Identification of endogenous gibberellins in petunia flowers (induction of anthocyanin biosynthetic gene expression and the antagonistic effect of abscisic acid)[J]. *Plant Physiology*, 1995, 107(3): 695-702. doi: https://doi.org/10.1104/pp.107.3.695.

[10] 宗绪晓, 关建平, 王述民, 刘庆昌, ROBERT R R, REBECCA F. 国外栽培豌豆遗传多样性分析及核心种质构建[J].作物学报, 2008(9):1518-1528. doi: 10.3724/SP.J.1006.2008.01518.
ZONG X X, GUANG J P, WANG S M, LIU Q C, REDDEN R R, FORD R. Analysis of genetic diversity of cultivated peas in foreign countries and construction of core germplasm[J]. *Acta Agronomica Sinica*, 2008(9):1518-1528. doi: 10.3724/SP.J.1006.2008.01518.

[11] 王述民, 曹永生, REDDEN R J, 胡家蓬, SHER T U. 我国小豆种质资源形态多样性鉴定与分类研究[J]. 作物学报, 2002(6):727-733. doi: 10.3321/j.issn:0496-3490.2002.06.002.
WANG S M, CAO Y S, REDDEN R J, HU J P, SHER T U. Genetic diversity and core collection of alien *Pisum sativum* L. germplasm [J]. *Acta Agronomica Sinica*, 2002(6):727-733. doi: 10.3321/j.issn:0496-3490.2002.06.002.

[12] 潘亚燕, 吴华玲, 李家贤, 阳成伟, 刘军 . 红紫芽茶利用研究进展[J]. 广东农业科学, 2015,42(1):8-12,17. doi: 10.16768/j.issn.1004-874X.2015.01.025.
PAN Y Y, WU H L, LI J X, YANG C W, LIU J. Advances in research and utilization of purple tea[J]. *Guangdong Agricultural Sciences*,2015,42(1):8-12,17. doi: 10.16768/j.issn.1004-874X.2015.01.025.

[13] 苏宗安, 邵克成, 卢永奋, 陈华斌, 郑佳成. 豌豆杂交制种技术[J].广东农业科学, 2007(4):91-92. doi: 10.16768/j.issn.1004-874x.2007.04.035.
SU Z A, SHAO K C, LU Y F, CHEN H B, ZHENG J C. The hybrid seed production technology of pea[J]. *Guangdong Agricultural Sciences*, 2007(04):91-92. doi: 10.16768/j.issn.1004-874x.2007.04.035

[14] AHMADIANI N, BBINS R J, COLLINS T M, GIUSTI M M. Anthocyanins contents, profiles, and color characteristics of red cabbage extracts from different cultivars and maturity stages[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2014, 62(30):7524-7531. doi: 10.1021/jf501991q.

[15] 陈家旺, 陈汉才, 黎明, 俞志忠, 谢大森, 郭启权, 殷秋妙 . 甜豌豆新品种粤甜豆 1 号的选育[J]. 广东农业科学, 2000(6):24-26. doi: 10.16768/j.issn.1004-874X.2000.06.010.
CHEN J W, CHEN H C, LI M, YU Z Z, XIE D S, GUO Q Q, YIN Q M. Breeding of a new sweet pea variety Yuetiandou No.1[J]. *Guangdong Agricultural Sciences*, 2000(6):24-26. doi: 10.16768/j.issn.1004-874X.2000.06.010.

[16] 蒋彦华, 唐永生, 李聪花, 邹建华, 朱玉芬 . 豌豆新品种 "靖豌 2 号" 的选育及栽培技术[J]. 云南农业科技, 2017(4):54-56. doi:10.3969/j.issn.1000-0488.2017.04.024.
JIANG Y H, TANG Y S, LI C H, ZOU J H, ZHU Y F. The breeding and cultivation techniques for new pea variety "Jingwan No.2" [J]. *Yunnan Agricultural Science and Technology*, 2017(4):54-56. doi:10.3969/j.issn.1000-0488.2017.04.024.

[17] CHAO P Y, HUANG W Y, HU S P, LO H F, LIN K H, HUANG M Y, CHANG T R, YANG C M. Indigenous purple vegetable extracts protect against hydrogen peroxide-induced DNA damage in human lymphocytes [J]. *Food and Nutrition Sciences*, 2013,4(8). doi:10.4236/fns.2013.48A008.

[18] 杭园园, 梁颖, 李艺, 丁莹, 刘贤金, 王树林 . 部分紫色蔬菜中酚类物质及维生素 C 含量分析[J]. 食品工业科技, 2019,40(4):16-20-26. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2019.04.003.
HANG Y Y, LIANG Y, LI Y, DING Y, LIU X J, WANG S L. Analysis of phenolic compounds and vitamin C in some purple vegetables[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2019,40(4):16-20-26. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2019.04.003.

[19] LI H Y, DENG Z Y, ZHU H H, HU C L, LIU R H, YOUNG C, TSAO R. Highly pigmented vegetables: Anthocyanin compositions and their role in antioxidant activities[J]. *Food Research International*, 2012,46(1):250-259. doi: 10.1016/j.foodres.2011.12.014.

[20] ZHANG Y J, HU Z L, CHU G H, HUANG C, TIAN S B, ZHAO Z P, CHEN G P. Anthocyanin accumulation and molecular analysis of anthocyanin biosynthesis-associated genes in Eggplant (*Solanum melongena* L.)[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2014, 62(13). doi: 10.1021/jf404574c.

（责任编辑　张辉玲）