

doi:10.11937/bfyy.20181636

不同倍性紫锥菊的性状比较及新种质的获得

黄华希¹, 陈 荣^{1,2}, 杨跃生³, 吴 鸿³

(1. 玉林师范学院 生物与制药学院, 广西 玉林 537000; 2. 吉林农业大学 中药材学院, 吉林 长春 130118;
3. 华南农业大学 广东省兽用中药与天然药物工程技术研究中心, 广东 广州 510642)

摘 要:采用同株系二倍体、四倍体、八倍体紫锥菊进行大田栽培试验,比较不同倍性紫锥菊的营养生长、生殖生长及多酚类成分指标,八倍体母株种子萌发后通过根尖染色体计数法进行倍性分析,以期为遗传基础理论研究和育种提供更多的材料选择。结果表明:随着倍性增加,株高变矮,叶长宽比和舌状花长宽比变小;每株分枝数以四倍体最高;一年生时二倍体的头状花序数和总花序数最多,显著高于四倍体和八倍体;二年生时四倍体的头状花序数和总花序数最多,显著高于二倍体和八倍体;二年生采收数据紫锥菊四倍体全株产量较八倍体高 232.6%,二倍体全株产量较八倍体高 187.1%;四倍体和八倍体的地上部、地下部总多酚含量、绿原酸含量、菊苣酸、单咖啡酰酒石酸含量均显著较二倍体高,八倍体地上部和地下部绿原酸含量、地上部菊苣酸含量显著高于四倍体;八倍体子代实生苗倍性鉴定得到五倍体和非整倍体。对紫锥菊而言,八倍体倍性太高,其产量和品质的综合性状不具备优势,但在作为种质资源方面具有价值;四倍体表现优良,较二倍体效益高;获得的五倍体和非整倍体材料,在生产和作为遗传改良桥梁种方面具有价值,是紫锥菊整倍性和非倍性材料创建的有益补充。

关键词:紫锥菊;四倍体;八倍体;非整倍体

中图分类号:S 681.902.4 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2019)02-0138-08

紫锥菊(*Echinacea purpurea* L.)自然分布于美国中东部和加拿大南部地区^[1]。药理研究表明紫锥菊在提高免疫、抗炎、抗病毒等方面效用明显,是目前北美和欧洲草药市场最畅销的草药之一,销量逐年上升,且具备人用和畜用抗生素的开发潜力,多酚类化合物为其主效成分^[2]。

在植物的遗传改良工作中,多倍体植株常在形态结构、植物生理、次生代谢方面出现变化,并可通过杂交等方法提供具有育种价值的新种质,

多倍化有时可提升作物产量和质量,有时对产量、质量产生负面影响^[3]。在紫锥菊的倍性育种中发现,相对于紫锥菊二倍体,四倍体具有更高的生产力,加倍后根粗、生物产量高、气孔大、头状花数量多、头状花直径大、菊苣酸和烷基酰胺类成分含量高,四倍体紫锥菊的产量、质量等性状表现与基因型有关^[4-6]。八倍体具有更大的气孔长度和宽度,根较四倍体粗壮,且菊苣酸含量增加,但该研究结果是基于组培瓶苗材料和 2 个月栽培试验的基础上得出的^[7-8]。目前未见紫锥菊八倍体大田栽培的试验报道,也缺少不同倍性紫锥菊除菊苣酸外的其它多酚类成分如绿原酸、单咖啡酰酒石酸、总多酚等有效成分含量的文献资料。该试验采用同株系二倍体、四倍体、八倍体材料进行比较,目的二是对组培瓶内表现倍性优势的八倍体进行 2 年大田栽培比较试验,通过产量和品质的比较,确定

第一作者简介:黄华希(1982-),女,硕士,讲师,研究方向为化学分离分析。E-mail:416972931@qq.com.

责任作者:陈荣(1977-),男,博士,副教授,硕士生导师,现主要从事药用植物资源开发与保护等研究工作。E-mail:282473041@qq.com.

基金项目:国家自然科学基金资助项目(31660090)。

收稿日期:2018-07-24

八倍体紫锥菊直接用于生产的可能性;目的二是调查八倍体植株的子代情况,探讨获得五倍体的方法途径,为遗传基础理论研究和紫锥菊育种提供更多的材料选择。

1 材料与方法

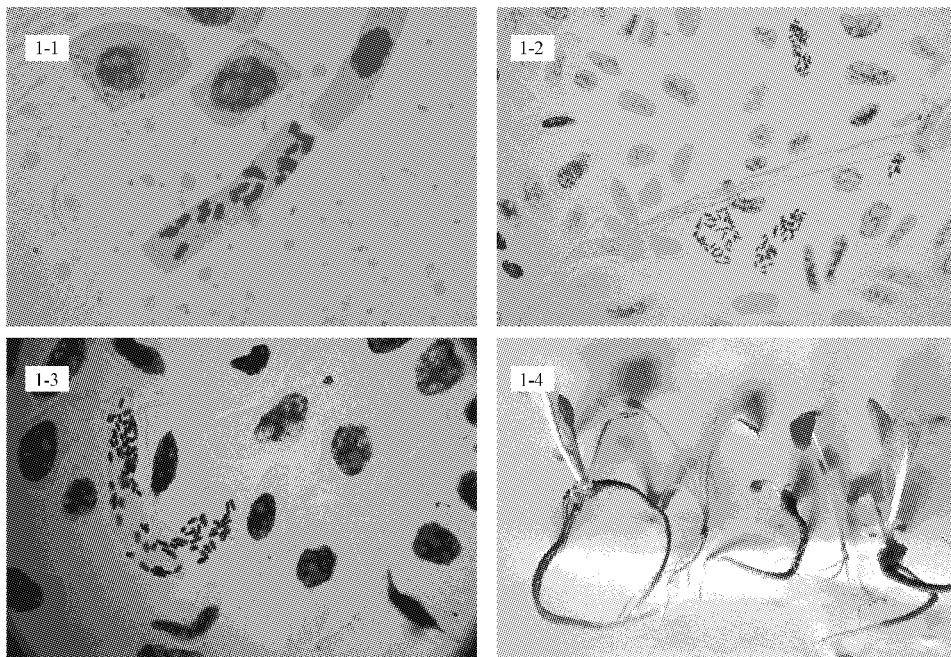
1.1 试验地概况

栽培试验在广西柳州市柳北区沙塘林场进行,地处北纬 $24^{\circ}28'$,东经 $108^{\circ}21'$,海拔120 m;年均气温 20.1°C ,1月平均气温 9.9°C ,极端最低气温 -5.8°C ,7月平均气温 28.6°C ,极端最高气温 39.6°C ,年均降雨量1429.7 mm,年均蒸发量

1599.8 mm,无霜日356.8 d,试验区为缓坡地,有灌溉设施。

1.2 试验材料

紫锥菊二倍体、四倍体和八倍体材料采用组培结合秋水仙素诱导的方法获得^[7],根尖染色体计数法进行倍性鉴定(图1);八倍体植株瓶内生根慢,但是根较二倍体和四倍体粗(图1);练苗移栽形成栽培群体;八倍体植株自然授粉,从9株八倍体母株上共得到5粒种子,发芽2粒,对其进行倍性鉴定^[7]。栽培时边行种植紫锥菊实生苗保护行,3个倍性植株随机种植于保护行内。



注:1-1、1-2、1-3为根尖细胞染色体照片,染色体依次为22、44、88条;1-4为紫锥菊组培苗生根情况,从左到右,第1、3、5株为八倍体,第2株为四倍体,第4株为二倍体。

Note: 1-1, 1-2 and 1-3 are chromosome photographs of root tip cells, showing 22, 44 and 88 chromosomes in turn. 1-4 is rooting of *Echinacea purpurea* tissue culture seedlings, from left to right, 1, 3 and 5 are octoploid, 2 is tetraploid and 4 is diploid.

图1 不同倍性紫锥菊

Fig. 1 Photographs with different ploidy of *E. purpurea*

1.3 项目测定

3月下旬移入大田后于当年6月中旬测定叶长、叶宽,测定基部往上的第2~4片叶,每株数据为3片叶的平均值;二倍体、四倍体、八倍体的舌状花长度、宽度均在栽培当年9月中旬测定,其中八倍体的部分舌状花存在不能正常长出,及部分

呈现管状的现象,故其长度、宽度选取头状花序上正常展开的舌状花进行测定;株高、每株头状花序数量、每株总花序数量、每株的分枝数在翌年9月统计,分枝是指紫锥菊在接近地面处发的枝条数;由于紫锥菊多采收2年生以上植株入药,故于栽培翌年9月中旬进行2年生紫锥菊的取样及测

定,测定内容包括地上部产量、地下部产量和菊甙酸含量、绿原酸含量、单咖啡酰酒石酸含量和总多酚含量;采收后在室内阴干后测干质量,测干质量时含水量约为8.0%,干燥后4℃避光冷藏约1个月后进行有效成分定量分析。菊甙酸、绿原酸、单咖啡酰酒石酸、总多酚等多酚类成分的提取和定量分析方法参照文献进行^[8-9]。定叶长叶宽后算出叶长宽比,叶长宽比=叶长度/叶宽度;测定舌状花长度和宽度后算出舌状花长宽比,舌状花长宽比=舌状花长度/舌状花宽度。

1.4 数据分析

采用 Microsoft Excel 软件进行数据处理,采用 SPSS 统计分析软件进行显著性分析。

2 结果与分析

2.1 3个倍性紫锥菊1年生情况比较

表1表明,3种不同倍性紫锥菊株高按照从大到小的顺序依次为二倍体、四倍体、八倍体,分别为62.0、48.6、16.6 cm(图2-1、图2-2和图2-3),三者间差异显著,四倍体和八倍体的株高较二倍体株高分别降低21.6%和73.2%;从每株分枝数来看,四倍体每株分枝数最高为4.3,显著高于二倍体的2.7,二倍体的每株分枝数较八倍体略高但二者差异不显著;3种不同倍性植株的叶长度按照从大到小顺序依次排列为二倍体、四倍体、八倍体,三者间差异显著,四倍体和八倍体的叶长

较二倍体的叶长分别降低10.3%和29.5%;四倍体的叶宽最大,显著高于二倍体、八倍体的叶宽,二倍体的叶宽最小,二倍体、八倍体间叶宽差异不显著;就叶长宽比来看,随着倍性的增加,叶长宽比逐渐降低,分别为2.8、2.2、1.9,四倍体和八倍体的叶长宽比显著小于二倍体。

由表2可知,3个不同倍性紫锥菊的头状花序数量按照从大到小的顺序依次为二倍体、四倍体、八倍体,分别为17.5、6.0、1.8个(图2-1、2-2、2-3),三者间差异显著,四倍体和八倍体的头状花序数量较二倍体分别降低65.7%和89.7%;就总花序数量来看,随着倍性增加,每株总花序数量逐渐降低,其中二倍体的每株总花序数量显著高于四倍体和八倍体,四倍体和八倍体的每株总花序数量差异不显著;舌状花长按照从大到小的顺序排列依次为二倍体、四倍体、八倍体(图2-4、2-5、2-6),3个不同倍性间差异显著,四倍体和八倍体的舌状花长较二倍体分别降低32.5%和57.0%;舌状花宽按照从大到小的顺序排列依次为二倍体、四倍体、八倍体,二倍体与四倍体间差异不显著但均显著高于八倍体;就舌状花长宽比来看,随着倍性的增加,数值逐渐降低,3个不同倍性间舌状花长宽比差异显著。结合大田观察来看,四倍体偶见舌状花不能正常展开,呈管状;而八倍体的舌状花不能正常展开的较多,呈现畸形、管状、短缩成筒状等形态(图2-7、2-8)。

表 1 不同倍性 1 年生紫锥菊营养生长指标比较(±SD)
Table 1 Comparison of some parameters of the nutrient organs among annual plants with different ploidy

倍性 Ploidy	株高 Plant height/cm	每株分枝数 No. tiller per plant	叶长 Leaf length/cm	叶宽 Leaf width/cm	叶长宽比 Leaf length to width ratio
2×	62.0±7.5a	2.7±0.8b	16.6±1.4a	5.9±0.3b	2.8±0.2a
4×	48.6±5.7b	4.3±0.8a	14.9±1.0b	6.9±0.5a	2.2±0.2b
8×	16.6±3.6c	2.3±0.5b	11.7±1.4c	6.1±0.7b	1.9±0.1b

注:不同小写字母表示在 P≤5%水平存在显著差异,下同。
Note: Different lowercase letters in the same column are significantly different at P≤5%, the same below.

表 2 不同倍性 1 年生紫锥菊生殖器官生长比较(±SD)
Table 2 Comparison of some parameters of the generative organs among annual plants with different ploidy

倍性 Ploidy	每株头状花序数量 No. capitulum per plant	每株总花序数量 No. florescence per plant	舌状花长 Length of ray flower/cm	舌状花宽 Width of ray flower/cm	舌状花长宽比 Ray flower petal length to width ratio
2×	17.5±3.4a	3.2±0.8a	4.09±0.20a	1.01±0.08a	4.05±0.12a
4×	6.0±2.8b	1.7±0.8b	2.76±0.23b	0.95±0.11a	2.92±0.10b
8×	1.8±0.8c	1.2±0.4b	1.76±0.39c	0.65±0.12b	2.68±0.19c



注:2-1、2-4 为二倍体;2-2、2-5 为四倍体;2-3、2-6、2-7、2-8 为八倍体;2-9 显示 $2n=55$;2-10 显示 $2n=53$,为非整倍体。

Note: 2-1 and 2-4 are diploid. 2-2 and 2-5 are tetraploid. 2-3, 2-6, 2-7 and 2-8 are octoploid. 2-9 shows $2n=55$, which is pentaploid. 2-10 shows $2n=53$, which is aneuploid.

图2 不同倍性紫锥菊及八倍体子代鉴定

Fig. 2 Growth of *E. purpurea* with different ploidy and identification of ploidy of octoploid offspring

2.2 3个不同倍性紫锥菊2年生情况比较

表3表明,就株高来看,随着倍性的增加,株高逐渐降低,不同倍性间株高差异显著;每株分枝数按照从大到小的顺序排列依次为15.3、6.2、3.8个,分别对应的倍性是四倍体、二倍体、八倍体,3个不同倍性间差异显著;头状花序数量最多

的是四倍体,为37.8个,显著高于二倍体的24.5个,八倍体的头状花序数量最低,为3.7个,显著低于其它2种倍性植株;每株总花序数量按照从大到小顺序排列为11.0、4.2、1.5个,对应的倍性分别为四倍体、二倍体、八倍体;3个不同倍性间的每株总花序数量差异显著。

表3 不同倍性2年生紫锥菊营养生长与生殖器官生长比较(±SD)

Table 3 Comparison of some parameters among biennial plants with different ploidy

倍性 Ploidy	株高 Plant height/cm	每株分枝数 No. tiller per plant	每株头状花序数量 No. capitulum per plant	每株总花序数量 No. florescence per plant
2×	85.6±7.3a	6.2±1.2b	24.5±3.6b	4.2±0.8b
4×	75.4±7.1b	15.3±1.8a	37.8±5.0a	11.0±1.4a
8×	26.7±2.9c	3.8±0.8c	3.7±1.2c	1.5±0.5c

2.3 3个不同倍性2年生紫锥菊产量与品质比较

表4表明,二倍体紫锥菊地上部产量最高,为84.1 g·株⁻¹,高于四倍体的78.6 g·株⁻¹,但二者间差异不显著,二倍体、四倍体的地上部产量均显著高于八倍体的21.1 g·株⁻¹;就地下部产量来看,四倍体地下部产量最高,为53.1 g·株⁻¹,二倍体地下部产量为29.6 g·株⁻¹,八倍体的地下部产量最低,为18.5 g·株⁻¹,不同倍性紫锥菊间的地下部产量存在显著差异;全株产量依次为131.7、113.7、39.6 g·株⁻¹,对应的倍性分别为四倍体、二倍体、八倍体,四倍体紫锥菊的全株产量较八倍体高232.6%,二倍体紫锥菊的全株产量较八倍体高187.1%,结合田间观察来看,八倍体紫锥菊存在练苗困难、生长缓慢等栽培问题。

表4 不同倍性2年生紫锥菊产量比较(±SD)

Table 4 Comparison of yield and cichoric acid content among biennial plants with different ploidy g·株⁻¹

倍性 Ploidy	地上部产量 Yield of above ground	地下部产量 Yield of under ground
2×	84.1±6.3a	29.6±3.5b
4×	78.6±6.4a	53.1±4.2a
8×	21.1±2.8b	18.5±2.3c

表5表明,3个不同倍性紫锥菊地上部总多酚含量按照从大到小的顺序依次为八倍体、四倍体、二倍体,八倍体、四倍体的地上部总多酚含量分别较二倍体高56.5%、42.6%,八倍体与四倍体植株间的总多酚含量差异不显著但均显著

高于二倍体植株;不同倍性地上部菊苣酸含量按照从大到小的顺序排列依次为八倍体、四倍体、二倍体,八倍体、四倍体的菊苣酸含量分别较二倍体高72.5%、34.8%,不同倍性间存在显著差异;二倍体紫锥菊地上部的绿原酸含量较低,为0.08 mg·g⁻¹,四倍体地上部绿原酸含量为0.19 mg·g⁻¹,显著高于二倍体,而八倍体地上部绿原酸含量较二倍体高237.5%,为0.27 mg·g⁻¹;四倍体和八倍体的单咖啡酰酒石酸含量接近,分别为5.67、5.88 mg·g⁻¹,二者单咖啡酰酒石酸含量差异不显著但均显著高于二倍体。

表6表明,3个不同倍性植株中以二倍体紫锥菊地下部总多酚含量最低,为30.52 mg·g⁻¹,八倍体、四倍体的总多酚含量分别较二倍体高51.4%、43.5%,二倍体的总多酚含量显著低于四倍体、八倍体,八倍体与四倍体间差异不显著;3种不同倍性紫锥菊的地下部菊苣酸含量按照从大到小的顺序排列依次为八倍体、四倍体、二倍体,四倍体和八倍体间无显著差异但均显著高于二倍体;绿原酸含量按照从大到小的顺序排列依次为0.36、0.25、0.11 mg·g⁻¹,分别对应的倍性为八倍体、四倍体、二倍体,3个不同倍性间差异显著;八倍体的单咖啡酰酒石酸含量最高,为6.91 mg·g⁻¹,高于四倍体的6.38 mg·g⁻¹。但二者间差异不显著,八倍体、四倍体的单咖啡酰酒石酸含量分别较二倍体高76.3%、62.8%。

表 5 不同倍性 2 年生紫锥菊地上部品质比较(±SD)

Table 5 Comparison of quality among above ground part of plants with different ploidy mg·g⁻¹

倍性 Ploidy	菊苣酸含量 Content of cichoric acid	绿原酸含量 Content of chlorogenic acid	单咖啡酰酒石酸含量 Content of caffeoyl tartaric acid	总多酚含量 Content of total polyphenols acid
2×	7.82±0.91c	0.08c	3.53±0.42b	24.65±2.8b
4×	10.54±1.18b	0.19b	5.67±0.57a	35.14±5.4a
8×	13.49±1.05a	0.27a	5.88±0.63a	38.57±5.2a

表 6 不同倍性 2 年生紫锥菊地下部品质比较(±SD)

Table 6 Comparison of quality among under ground part of plants with different ploidy mg·g⁻¹

倍性 Ploidy	菊苣酸含量 Content of cichoric acid	绿原酸含量 Content of chlorogenic acid	单咖啡酰酒石酸含量 Content of caffeoyl tartaric acid	总多酚含量 Content of total polyphenols acid
2×	9.95±1.07b	0.11c	3.92±0.41b	30.52±4.3b
4×	13.82±1.64a	0.25b	6.38±0.68a	43.75±6.7a
8×	15.24±1.76a	0.36a	6.91±0.72a	46.24±6.1a

2.4 八倍体紫锥菊母株自然结实后代倍性鉴定结果

八倍体植株生长缓慢,物候期较四倍体后延,9 株二年生八倍体母株自然结实,共获得种子 5 粒,可见八倍体的结实率较低,其中 2 粒正常萌发得到幼苗。对八倍体母株子代植株的倍性进行了鉴定,共鉴定材料 2 份,一份染色体数为 55 条(图 2-9),为五倍体,另一份染色体数为 53 条,为非整倍体(图 2-10)。

3 结论与讨论

多倍体育种是植物遗传改良的有效途径,一般认为四倍体有叶片增厚、叶色深、器官巨型化等特点^[3],多倍体植物高产、品优和抗逆性强的报道较多^[10-13]。该研究结果显示四倍体紫锥菊的产量和菊苣酸含量均较二倍体高,这与前期报道一致^[5-6],前期相关报道中并未提及四倍体和八倍体紫锥菊其它多酚类成分,此次发现四倍体紫锥菊的其它多酚类成分如绿原酸、单咖啡酰酒石酸和总多酚的含量均显著高于二倍体。在 2 年大田栽培试验中发现,八倍体紫锥菊的菊苣酸含量高于二倍体、四倍体紫锥菊,这与 LI 等^[8]在 2 个月盆栽试验后的结果一致,显示八倍体紫锥菊中其它多酚类成分如绿原酸、单咖啡酰酒石酸和总多酚含量也均高于二倍体、四倍体植株;八倍体紫锥菊生长缓慢,生物产量较二倍体、四倍体显著下降,2 年栽培试验采收时其全株生物产量不到四倍体

生物产量的 30%,考虑到紫锥菊 2~3 年生采收入药,LI 等^[8]在 2 个月盆栽试验后提出八倍体紫锥菊在生产上可直接利用这一结论值得商榷,该研究结果显示八倍体生物产量过低,且栽培技术较二倍体、四倍体难,大田管理要求较二倍体、四倍体精细,故直接应用于生产可行性不强。

当前关于倍性水平与次生代谢的相关性并不清楚^[3,14]。有报道认为染色体加倍后,基因剂量的增加可能导致某些酶含量和酶活性的增加,从而带来次生代谢产物的增加^[5]。多倍体植物中,某些调控次生代谢产物生物合成的相关基因可能是基因剂量依赖型,或者多倍化后导致了某类次生代谢产物相关合成基因的表达上调^[11]。就相关机理研究报道来看,植物染色体加倍后,从功能上看,重复基因可能有 3 种功能,保持原有功能、基因沉默、分化并执行新功能^[13]。该研究中八倍体紫锥菊的多酚类成分含量高于四倍体,八倍体和四倍体紫锥菊的多酚类成分含量均显著高于二倍体,推测应与紫锥菊中多酚类成分代谢合成相关酶的活性增加有关系。

植物多倍化可能为生产带来有利影响,也可能带来不利影响^[3]。加倍后基因剂量增加,只是核基因组的加倍,细胞质的量并无增加,导致核-质比例发生改变,可能引起调控紊乱,必须新的基础上重建核质平衡,植物的多倍化并不是越高越好,对植物的生长来说,应有一个最适倍性^[15]。该研究中四倍体产量和品质均较二倍体增加,而八倍体生长缓慢,产量大幅下降,该研究在前期材

料获取阶段,加倍获得3个八倍体株系,仅练苗移栽成功一个株系,且该株系八倍体栽培管理较二倍体、四倍体难,以上推测紫锥菊四倍体应较易重建核质平衡,对于紫锥菊原料药材生产来说,该倍性较为适宜,而八倍体倍性过高。

在紫锥菊的倍性育种研究中,已报道获得了单倍体^[16]、四倍体^[17]、八倍体^[7]、三倍体和六倍体种质材料^[18],但迄今没有得到介于四倍和六倍之间的五倍体以及介于六倍与八倍之间的七倍体。由四倍体杂交获得三倍体,或者由八倍体杂交获得五倍体、七倍体,此类多倍体杂交获得的子代以及异源四倍体,可能会具有杂种优势^[15]。可见,该研究获得的五倍体和近五倍体的非整倍体材料,即有直接应用于生产的可能性,又可作为紫锥菊遗传改良的桥梁种,同时还是紫锥菊整套倍性材料和非倍性材料创建的有益补充,可以为后期的遗传理论研究提供种质资源^[19-20]。尽管此前该研究室已得到六倍体和八倍体^[7,18],但均没有种植到开花,在反复对六倍体和八倍体移栽的过程中,发现部分高倍性紫锥菊株系生长缓慢,管理稍不善植株即死亡,该研究第一次在八倍体这种高倍情况下得到能够生长发育至生殖成熟的结果。这个结果说明,植株的生长发育能力不仅与倍性有关,基因型仍然发挥着重要的作用。因此,若能够取得较多基因型的高倍体,将有可能从中筛选出生长状态更好的株系。该研究结果还提示,通过栽种合适基因型的六倍和八倍体进行杂交,将有可能得到七倍体以及更多的非整倍体类型。就文献检索情况来看,目前报道发现能够有如此丰富的倍性类型种质资源的物种较少,而紫锥菊丰富的倍性资源,将可为遗传基础理论研究和育种提供更多的种质材料。

参考文献

- [1] 肖培根. 国际流行的免疫调节剂紫锥菊及其制剂[J]. 中草药, 1996, 27(1): 46-48.
- [2] 安士影, 胡玉梅, 苗宏伟, 等. 市售国内紫锥菊提取物质量评价[J]. 中国中药杂志, 2012, 37(22): 3406-3410.
- [3] COMAI L. The advantages and disadvantages of being polyploidy[J]. Nature Reviews Genetics, 2005, 6(11): 836-846.
- [4] ABDOLI M, MOIENI A, BADI H N. Morphological, physiological, cytological and phytochemical studies in diploid and colchicine-induced tetraploid plants of *Echinacea purpurea* (L.) [J]. Acta Physiologiae Plantarum, 2013, 35: 2075-2083.
- [5] XU C G, TANG T X, CHEN R, et al. A comparative study of bioactive secondary metabolite production in diploid and tetraploid *Echinacea purpurea* (L.) Moench [J]. Plant Cell, Tissue and Organ Culture, 2014, 116(3): 323-332.
- [6] CHEN R, JIANG W Z, LI Q L, et al. Comparison of seven colchicine-induced tetraploid clones with their original diploid clones in purple coneflower (*Echinacea purpurea* L.) [J]. Euphytica, 2016, 207(2): 387-399.
- [7] NILANTHI D, YANG Y S. *In vitro* induction of octaploid from colchicine-treated tetraploid petiole explants of purple coneflower (*Echinacea purpurea* L.) [J]. Tropical Agricultural Research & Extension, 2013, 16(1): 1-6.
- [8] LI Q L, YANG Y S, WU H. *In vitro* segregation of tetraploid and octaploid plantlets from colchicine-induced ploidy chimeras in *Echinacea purpurea* L. [J]. Hort Science, 2016, 51(5): 549-557.
- [9] 郭巧生, 钱大玮, 何先元, 等. 药用白菊花4个栽培类型内在质量的比较研究[J]. 中国中药杂志, 2002, 27(12): 896-898.
- [10] KRYSZYNA Z, CEZARY P, BARBARA P. Yields and quality of green forage from red clover diploid and tetraploid forms [J]. Journal of Elementology, 2010, 15(4): 757-770.
- [11] DHAWAN O P, LAVANIA U C. Enhancing the productivity of secondary metabolites via induced polyploidy: A review [J]. Euphytica, 1996, 87: 81-89.
- [12] LANANIA U C, SRIVASTAVA S, LAVANIA S, et al. Autopolyploidy differentially influences body size in plants, but facilitates enhanced accumulation of secondary metabolites, causing increased cytosine methylation [J]. Plant Journal, 2012, 71: 539-549.
- [13] ZHANG X Y, HU C G, YAO J L. Tetraploidization of diploid *Dioscorea* results in activation of the antioxidant defense system and increased heat tolerance [J]. Journal of Plant Physiology, 2010, 167: 88-94.
- [14] GUO M, DAVIS D, BIRCHLER J A. Dosage effects on gene expression in a maize ploidy series [J]. Genetics, 1996, 142: 1349-1355.
- [15] 李树贤. 植物染色体与遗传育种 [M]. 北京: 科学出版社, 2008: 260-262.
- [16] ZHAO F C, NILANTHI D, YANG Y S, et al. Anther culture and haploid plant regeneration in purple coneflower (*Echinacea purpurea* L.) [J]. Plant Cell, Tissue and Organ Culture, 2006, 86: 55-62.
- [17] CHEN R, YANG Y S, WU H. A comparative study on rooting of *in vitro* regenerated shoots in haploid, diploid and tetraploid purple coneflower (*Echinacea purpurea* L.) [J]. Biotechnology & Biotechnological Equipment, 2016, 30(1): 44-48.
- [18] CHEN X L, ZHANG J J, CHEN R, et al. An uncommon plant growth regulator, diethyl aminoethyl hexanoate, is highly effective in tissue cultures of the important medicinal plant purple

coneflower(*Echinacea purpurea* L.)[J/OL]. BioMed Research International. 2013, Article ID 540316, 12 pages <http://dx.doi.org/10.1155/2013/540316>.

[19] 褚启人,张灵南. 水稻花粉植株非整倍体的细胞遗传学[J].

遗传学报,1985,12(1):51-60.

[20] 陆瑞菊,黄剑华,颜昌敬. 大麦四倍体花粉植株的花药培养及其再生植株的若干性状变异[M]//胡道芬. 植物花培育种进展. 北京:中国农业科技出版社,1996:98-101.

Characteristic Comparison Among Diploid, Tetraploid and Octaploid Plants and Obtaining of Pataploid and Aneuploid in *Echinacea purpurea* L.

HUANG Huaxi¹, CHEN Rong^{1,2}, YANG Yuesheng³, WU Hong³

(1. College of Biology and Pharmacy, Yulin Normal University, Yulin, Guangxi 537000; 2. College of Chinese Medicinal Materials, Jilin Agricultural University, Changchun, Jilin 130118; 3. Guangdong Technology Research Center for Traditional Chinese Veterinary Medicine and Natural Medicine, South China Agricultural University, Guangzhou, Guangdong 510642)

Abstract: Via cultivation of diploid, tetraploid and octaploid plants sharing the same genome of *E. purpurea*, investigating the influences of gene dosage on the vegetative and reproductive growth and on the content of the main functional compound, seeds collected from octaploid were germinated and the numbers of chromosomes in the root tip cells of the seedlings were counted. In order to provide more material choices for genetic basic theory research and breeding of abundant resources of *E. purpurea*. The results showed that with the increase of ploidy, plant height became shorter, leaf length to width ratio and ray flower petal length to width ratio decreased, the numbers of tiller per plant were all the largest in tetraploid. The numbers of capitulum and inflorescence among annual plants of tetraploid and octaploid were significantly lower than those of diploid plants, the numbers of capitulum and inflorescence among biennial plants were all the largest in tetraploid and were significantly higher than the diploid and octaploid. The yields of whole plant of tetraploid were 232.6% higher than octaploid, the yields of whole plant of diploid were 187.1% higher than octaploid. The contents of total polyphenols acid, chlorogenic acid, caffeoyl tartaric acid and cichoric acid in the above ground part and underground part of plants of tetraploid and octaploid were significantly higher than those of diploid plants, the contents of chlorogenic acid, cichoric acid in the aboveground part of octaploid was higher than in tetraploid. Two *in vitro* plantlets grew from seeds that collected from octaploid were assessed for ploidy state, one with 55 chromosomes and was considered as pentaploid and the other with 53 chromosomes and was certified as aneuploid. This study indicated that octaploid was too high a ploidy level to exhibit the advantage of yield and quality for *E. purpurea*, but this ploidy level still had value when was used as parents for crossing. Tetraploid seemed a suitable ploidy level that cultivation of tetraploid may achieve high benefit than conventional cultivation of diploid. The pentaploid and aneuploid of *E. purpurea* were of value in the production and used as a bridge for genetic improvement, and useful supplement to the creation of euploid and aneuploid materials.

Keywords: *Echinacea purpurea*; tetraploid; octaploid; aneuploid