果 树 学 报 2021,38(5):637-645
Journal of Fruit Science

DOI:10.13925/j.cnki.gsxb.20200308

短枝型苹果杂种后代早期鉴别及评价

张朝红,李 扬*,赵国栋,杨凤秋,陈东玫,张新生*,赵永波

(河北省农林科学院昌黎果树研究所,河北昌黎 066600)

摘 要:【目的】快速有效地筛选和鉴定短枝型苹果种质资源。**【方法】**以新红星和宫崎短枝富士的正反交群体为试材,调查了658株3年生实生树的8项枝芽形态指标,然后进行相关性和主成分分析,并在其10年生时进一步开展类型确证。**【结果】**节间长度、枝条基部粗度和萌芽率的次数分布符合正态分布,枝条长度、平均成枝数、总芽数和尖削度的频数分布为偏态分布;采用概率分级法,设X±0.534 6S两个分点,将6项指标均分成3级,其中关于萌芽率、枝条长度及枝条基部粗度的分级或可应用于枝芽形态特征的评价;相关分析表明,枝条形态特征指标间信息重叠,单一指标不能直接或准确地评价枝芽特性,为此运用因子分析,将影响枝条形态的指标综合成为5类因子,即枝条的长度因子(短枝率、枝条长度、尖削度)、空间密布因子(萌芽率和平均成枝数)、节长因子(节间长度)、节度因子(总芽数)和粗度因子(枝条基部粗度)。运用主成分分析对23个单株幼树期枝条的枝芽进行短枝型苹果形态指标的综合评价,后经成年期形态确认,发现这种评价能较好地区别短枝型与非短枝型植株,符合率为86.9%。**【结论】**采用概率分级的方法对苹果杂种后代枝条的萌芽率、枝条长度及枝条基部粗度进行评价;利用主成分分析筛选苹果杂种实生后代中短枝型种质,为苹果后代短枝型的选择和评价提供了一种新方法和新思路。

关键词:苹果;杂种;短枝型;形态;鉴别

中图分类号:S661.1 **文献标志码:**A **文章编号:**1009-9980(2021)05-0637-09

Identification and evaluation of the progenies of spur-type apple (*Malus domestica* Borkh.)

ZHANG Chaohong, LI Yang*, ZHAO Guodong, YANG Fengqiu, CHEN Dongmei, ZHANG Xinsheng*, ZHAO Yongbo

(*Changli Institute for Pomology, Hebei Academy of Agricultural and Forestry Science, Changli 066600, Hebei, China*)

Abstract:【Objective】Spur-type is one of the excellent agronomic traits in fruit trees, particularly in apple, peach, and Chinese date. The spur-type apple has been widely cultivated in apple industry in the world. However, there are only a few spur-type apples developed by hybridization breeding The aim of this study was to seek for rapid and effective identification of spur-type hybrid individuals from the progenies generated from the hybridization between spur type apple varieties to improve the breeding efficiency.【Methods】Eight characters including length of shoot (LS), length of internode (LI), total number of sprouts (TNS), mean number of shoots (MNS), percentage of spurs (PSU), shoot base thickness (SBT), percentage of sprouts (PSP), and conicity (CI) of 658 apple hybrid seedlings (generate from the reciprocal cross between *Malus domestica*‘Starkrimson’and *M. domestica*‘Miyazaki Spur’)were determined. The trees investigated were three- years old after budding on *Malus*×*robusta* (CarriŠre) Rehder. Firstly, correlation analysis was used to clarify the correlation between the investigated morphological characters, correlation and principal component analysis of these characters were then performed to simplify the number of morphological evaluation indicators. The principal components of

收稿日期:2020-07-29 **接受日期:**2021-01-14

基金项目:河北省科学自然基金(C2018301006);河北省省级预算项目(C19R0601、F20E06001);现代农业产业技术体系建设专项资金(CARS-27)

作者简介:张朝红,男,研究员,博士,研究方向为苹果种质资源与分子辅助育种。Tel:18713558399,E-mail:zchh163@163.com

*通信作者 Author for correspondence. Tel:0335-2038235,E-mail:zhangxs72@126.com;E-mail:pxliyang01@163.com

twenty-three fruit-bearing individual plants were calculated based on the eigenvalues and corresponding eigenvectors, and the threshold for determining the short shoot type was found. Phenotypic investigation was carried out on these individual seedlings of the trees to verify the determination results of principal component analysis when the trees were ten-years old after budding.【Results】The distributions of values of the LI, SBT and PSP conformed to the normal distribution, but those of the LS, TNS and MNS tended to be more likely χ^2 distribution, thus the values of normally distributed characters could be divided into three grades by (X−0.524 6S) and (X+0.524 6S). *i.e.* X±0.524 6S were set in the indexes of germination rate, branch length and branch base thickness to divide each index into three grades: low, medium and high, which could be applied to the analysis and evaluation of shoot morphological characters. The correlation coefficient matrix of the eight related branch morphological characters was calculated, and it was found that there was a certain correlation among all indexes, and it was not possible to accurately evaluate the characteristics of the branches by directly using the above single index. Therefore, multiple indexes should be used to comprehensively evaluate the hybrid offspring of spur type in apple. According to principal component analysis, the information constituted by the five factors of the eight morphological indexes of branches accounted for 89.16% of the total information, which basically reflected the main information of branches. These factors were defined as length factor, spatial density factor, node length factor, node length factor and thickness factor of branches respectively. The results also showed that the composite principal component score value of each individual plant could determine whether a seedling was spur-type or not. When the score value was positive, it was mostly spur- type in the field. And when it appeared negative value, it is mostly non-spur type in the field. The principal component analysis of shoots and buds of spur-type apple could be used to evaluate the morphological type of individual seedlings, with coincidence rate of 86.9%.【Conclusion】The PSP, LS and SBT of the branches of spur-type seedlings were evaluated by probability grading method in this study. The information overlapped between the eight morphological characteristics of the branches of apple seedlings, so the characteristics of the branches could not be evaluated directly or accurately by a single index. Therefore, by using factor analysis, the eight morphological indexes could be integrated into five factors, and then the individual plant types could be identified according to the scores of principal component analysis, with the coincidence rate of more than 85%.

Key words: *Malus domestica* Borkh.; Progenies; Spur-type; Morphology; Identification

株型或树型是作物的重要农艺性状之一，关系到作物的种（栽）植密度、产量及后期管理[1]。大田作物中，水稻、小麦相继培育茎秆短而结实、分蘖直立的新品种，玉米也培育顶端优势强、分蘖少的新品种，以期实现它们的株型改良[2]；果树中的桃树着重选育了分枝角度小、节间短、立体化结果的新品种，从而使其树型得以改良[3]。在桃[4]、枣[5]和苹果[6]中均发现了短枝型（spur type）资源变异，而以短枝型苹果品种最为丰富，此外当属苹果矮化砧木[7-8]。

短枝型苹果因具有树体矮化、紧凑、早果丰产等特点[9-10]，适合矮化密植发展方向[8]，在世界苹果品种更新过程中得以广泛应用[11-14]。以短枝型苹果品种嫁接至矮化中间砧木而构建的密植园（“双矮”）已占我国当前矮化密植园总面积的近40%[15]，此外“乔化砧+短枝型品种”栽培模式在甘肃等西北地区亦有应用[16]。近年来农村人口老龄化、劳动力紧缺等问题日益严重，要达到成花早、上色快、易结果、易管理[17]的目的，在苹果生产上也应推广短枝型苹果品种的栽培。

自1921年Okanoma首次被发现至今，已培育出新红星等200多个短枝型苹果品种[6]，通过杂交选育的品种仅占5%左右，原因之一就是缺乏短枝型苹果形态的有效鉴别方法。表现为在鉴别时间上分一年生苗[18]、二年生或三年生树[19]之别；在鉴别指标上存

在分歧，认为根据主干中上部形态（是否膨大）判定[18]，也有认为要以枝条的节间长度、萌芽率等指标进行综合鉴别[20]，但具体阈值难以明确；在方法上亦有不同，除了形态指标[18]的直接鉴别外，还有多指标逐步鉴别或聚类分析[19,21]。张新忠等[22]研究发现，若根据节间长度鉴定，宫崎短枝富士、优良短枝富士等品种难以划为短枝类型。可见，运用单一或两个指标，如节间长度、短枝率等进行短枝型鉴别并不全面[23-24]。

为此，笔者以新红星与宫崎短枝富士的正反交后代群体为试材，在调查枝芽8项形态指标的基础上，通过深入分析各指标及其相互关系，尝试构建一种短枝型苹果有效评价的新方法，以期为今后短枝型苹果育种及栽培研究提供参考。

1　材料和方法

1.1　材料

以9年生新红星、宫崎短枝富士为亲本，进行正反交杂交授粉。2003年杂交，秋季收获的杂交种子经沙藏处理后播种，于2010年采集杂种实生后代1.8 m以上节位的芽[25]，嫁接在SH6中间砧上，基砧为八棱海棠，株行距2 m×1 m，采用Y字形整形。

试验地昌黎果树研究所孔庄基地土壤为褐土，轻壤质，土层较厚，肥水条件较好，进行日常田间管理，树体生长状况良好。

1.2　方法

于2012年萌芽前，随机选取了3行杂种后代，其中正反和反交后代分别342、316株，共计658株。首先对短枝率（PSU）、节间长度（LI）、萌芽率（PSP）、总芽数（TNS）、尖削度（CI）、枝条长度（LS）、枝条基部粗度（SBT）及平均成枝数（MNS）等指标进行调查，具体方法参照《苹果种质资源描述规范和数据标准》[26]，然后进行频度分析、相关分析及主成分分析，以及短枝类型田间调查与主成分分析结果的对比分析。

根据调查植株与其父母本，即新红星（R）、宫崎短枝富士（F）的相似程度，2019年进行了被测试材表型的再次分析，添加与新红星和宫崎短枝富士相似的中间类型，从而短枝类型包括−1F、−2F、−1R和−2R；非短枝类型包括+2R、+1R、+2F和+1F，合计8种，数值越小，短枝程度越高（图1）。

左．−2R；右．−2F。

Left. −2R; Right. − 2F.

图1　苹果短枝型的分型

Fig. 1　Spur-type of apple

2　结果与分析

2.1　概率分级

综合分析新红星与宫崎短枝富士正反交3年生杂种苗枝条的8项形态指标，由低（小）到高（大）等间距分成15组或30组，绘制分布频次图（图2），经K-S检验，节间长度、萌芽率、枝长基部粗的Z值小于1.36，分别为0.815、1.145和0.826，符合正态分布，而枝条长度、总芽数、尖削度和平均成枝数呈一定程度的拖尾现象，呈近似正态分布或偏正态分布。

对于节间长度、萌芽率、总芽数、平均成枝数、枝条长度以及枝条基部粗度6项服从正态分布及偏态分布的性状指标，再参照概率分级的方法[27]，设$X\pm0.524\,6S$两个分点，将各指标分为低、中、高3级（表1）。

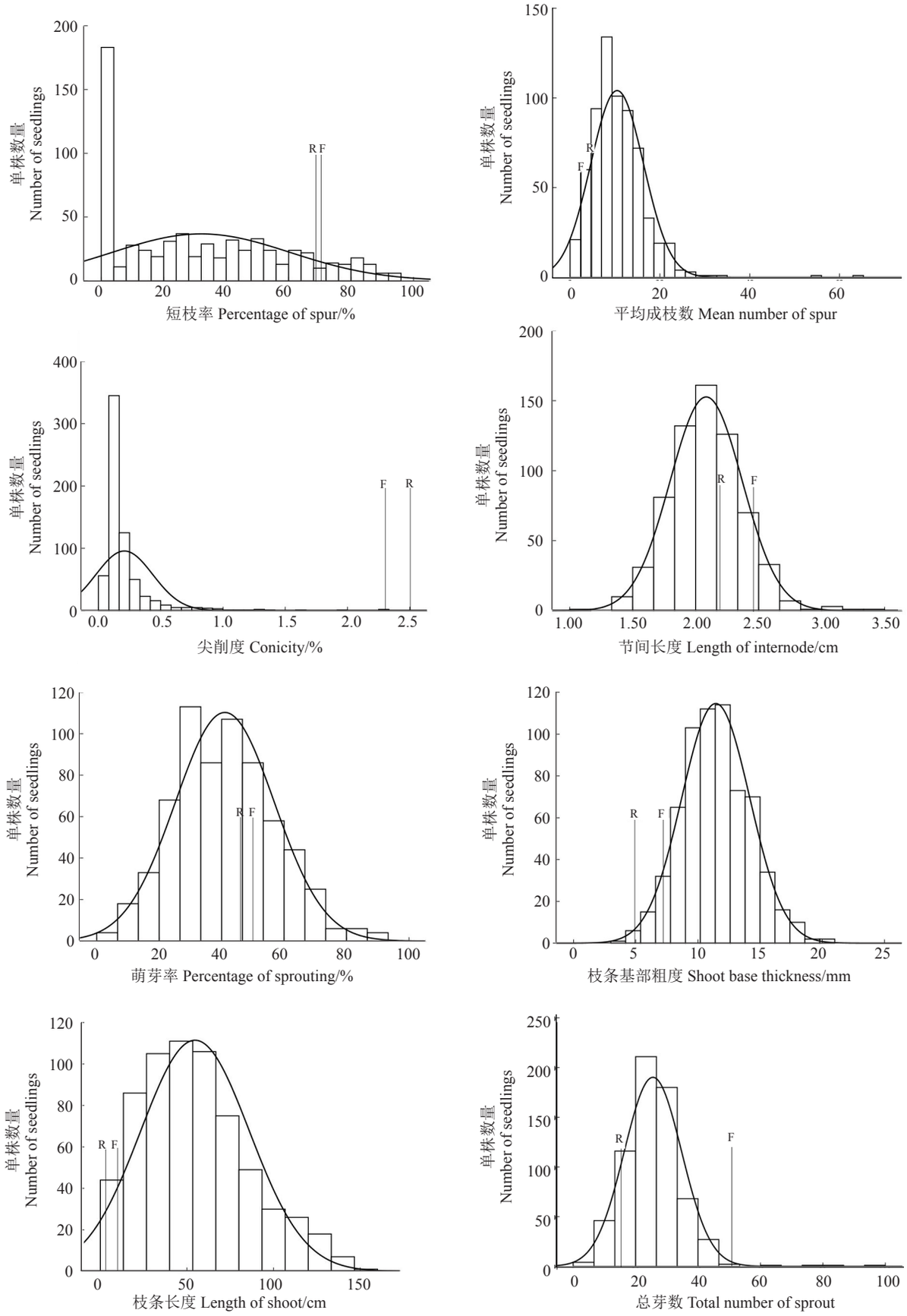

图 2 苹果枝条主要性状的次数分布

Fig. 2 Frequency distributions of shoot characters in reciprocal cross between *Malus domestica* ‘Starkrimson’ and *M. domestica* ‘Miyazaki spur’

表1　枝条主要数量性状的概率分级

Table 1　Grading of quantitive characters of apple shoots

性状Character	等级Grade	低Low	中 Medium	高High	卡方值χ^2	概率值Probit
节间长度LI	标准 Standard/cm	＜1.93	1.93~2.23	＞2.23	60.804	0.000
	分布 Distribution/%	28.88	53.19	17.93		
萌芽率PSP	标准 Standard/%	＜32.69	32.69~49.34	＞49.34	0.156	0.925
	分布 Distribution/%	30.70	39.51	29.79		
枝条长度 LS	标准 Standard/cm	＜38.17	38.17~71.13	＞71.13	5.516	0.063
	分布 Distribution/%	34.19	37.69	28.18		
总芽数TNS	标准 Standard	＜20	20~30	＞30	15.576	0.000
	分布 Distribution/%	25.23	47.42	27.36		
平均成枝数MNS	标准 Standard	＜7	7~13	＞13	27.603	0.000
	分布 Distribution/%	26.60	49.85	31.56		
枝条基部粗度SBT	标准 Standard/mm	＜10.00	10~12.88	＞12.88	0.598	0.742
	分布 Distribution/%	31.25	39.79	28.96		

其中，萌芽率、枝条长度和枝条基部粗度分级的卡方值分别为0.156、5.516、0.598，差异检验结果表明，萌芽率、枝条长度和枝条基部粗度的分级标准或可应用于枝芽形态性状的分析评价。

2.2　相关性分析

计算8项相关枝条形态指标的相关系数矩阵，发现各指标之间都存在着一定的相关性（表2），其中枝条长度与短枝率、枝条基部粗度与萌芽率呈显著负相关，枝条长度和节间长度、尖削度和短枝率呈显著正相关，各形态指标提供的信息重叠，同时各单项指标对苹果枝芽特征所起的作用也不尽相同，说明直接利用上述单一指标并不能准确评价该枝芽的特性，因此建议综合运用多项指标进行综合评定。

表2　苹果枝芽8项形态指标间的相关系数

Table 2　Correlation coefficients among 8 morphological characters of spur-type apple progenies

	枝条长度LS	短枝率PSU	节间长度LI	尖削度CI	总芽数TNS	萌芽率PSP	平均成枝数MNS	枝条基部粗度SBT
枝条长度LS	1.000							
短枝率PSU	−0.761**	1.000						
节间长度LI	0.136**	0.077*	1.000					
尖削度CI	−0.396**	0.488**	0.071*	1.000				
总芽数TNS	−0.129**	0.145**	0.008	0.038	1.000			
萌芽率PSP	−0.399**	0.320**	−0.096**	0.209**	0.020	1.000		
平均成枝数MNS	−0.363**	0.324**	−0.071*	0.186**	0.663**	0.679**	1.000	
枝条基部粗度SBT	0.097**	0.004	0.090*	0.073*	−0.008	−0.020	−0.011	1.000

注：**和*分别表示在 $p < 0.01$ 和 $p < 0.05$ 水平上差异显著。

Note: ** and * indicate significant difference at $p < 0.01$ and $p < 0.05$, respectively.

2.3　主成分分析

对苹果枝芽8个形态指标进行主成分分析，结果表明前5个成分构成的信息量为总信息量的89.160%，基本反映了枝条指标的主要信息，因此，用这5个主成分对杂种群体的情况进行概况分析（表3）。

第1个成分的方差贡献率为34.979%，代表性指标（即权重较大的指标）为短枝率、枝条长度和尖削度，它们与枝条的长度有关，可定义为枝条的长度因子。第2个成分的方差贡献率为17.360%，它在萌芽率、平均成枝数中有较大的载荷，称其为枝条的空间密布因子。第3个成分的方差贡献率为14.514%，它在总芽数指标中有较大的载荷，可定义为枝条的节度因子。第4个成分的方差贡献率为11.908%，代表指标为节间长度，称其为枝条的节长因子。第5个成分的方差贡献率为10.399%，它在枝条基部粗度有较大载荷，称其为枝条的粗度因子。

根据特征值和相应的特征向量，计算23个单株各自的主成分，按5个主成分大小依次排序，权衡每

表3 苹果枝条形态指标的因子分析

Table 3 Principal component analysis of morphological characteristics of apple shoots

性状 Character	成分1 Component 1	成分2 Component 2	成分3 Component 3	成分4 Component 4	成分5 Component 5
枝条长度LS	−0.827	−0.241	−0.093	0.197	0.155
短枝率PSU	0.890	0.146	0.111	0.058	−0.040
节间长度LI	0.026	−0.049	0.000	0.989	0.036
尖削度CI	0.748	0.032	−0.017	0.114	0.164
总芽数TNS	0.051	−0.003	0.991	0.009	−0.005
萌芽率PSP	0.211	0.967	−0.003	−0.048	−0.008
平均成枝数MNS	0.185	0.682	0.681	−0.036	0.004
枝条基部粗度SBT	0.009	−0.005	−0.001	0.036	0.986
特征值Eigen value	2.798	1.389	1.161	0.953	0.832
贡献率Percent of variance/%	34.979	17.360	14.514	11.908	10.399
累计百分率 Cumulative percentage/%	34.979	52.339	66.853	78.761	89.160

项性状指标在每个单株中所处的位置与分量，进而判定某一单株的类型。从综合得分上看，单株的综合主成分得分分值为正值时，其在田间多表现为短枝型；为负值时，在田间多表现为非短枝型。

2019年调查10年生杂种实生后代单株时，中间类型有所变化，而短枝和非短枝无变化，明确枝条的主成分分析基本能判定杂种单株的短枝与否，符合率为86.9%，表明运用主成分析法分析杂种实生树幼树期的枝芽形态表型，能够进行短枝型的类型鉴定（表4）。

表4 苹果枝芽形态指标的主成分得分

Table 4 Principal components value of morphological characteristics in spur-type apple progeny

位置 Location	成分1 Component 1	成分2 Component 2	成分3 Component 3	成分4 Component 4	成分5 Component 5	综合主成分 Synthetic component	初测类别 Type	最终表型 Phenotype
47W22	2.697 038	1.836 036	−0.522 120	0.058 457	−0.159 020	1.176 778	1	−1R
50W6	2.491 776	0.915 638	0.236 378	0.502 516	−0.232 880	1.100 483	1	−2R
47W39	2.871 052	−0.081 860	−0.474 490	0.965 750	−0.257 110	1.009 451	1	+1F
50E47	0.680 244	1.573 037	1.166 774	−0.094 860	1.159 133	0.789 609	0	+2F
32E60	2.467 187	0.298 729	0.679 551	−1.630 180	−0.697 870	0.746 793	1	+1R
53W55	0.115 716	1.131 346	1.636 862	−0.089 910	1.874 170	0.658 640	0	+2F
34E13	2.361 080	−1.078 690	−0.221 770	−0.651 080	−1.267 570	0.397 090	1	+1F
34E37	0.541 222	−0.337 190	1.070 741	−0.178 370	0.669 817	0.334 599	1	−2R
34E8	1.164 303	−0.638 600	0.297 241	−0.125 750	−0.917 510	0.229 156	1	−2R
34E57	1.530 550	−1.156 170	−1.062 500	0.346 300	−1.581 350	0.057 242	1	−2R
34E63	−0.766 450	−0.612 060	−0.753 300	2.008 647	2.080 185	−0.028 180	0	+1R
50E28	−1.749 820	0.582 482	2.223 412	0.398 232	0.468 220	−0.092 130	0	+2F
53W49	−0.025 260	−0.712 880	−0.420 440	0.686 151	−0.541 490	−0.168 220	0	+2R
47W51	−1.004 580	1.088 500	−0.518 240	0.366 243	0.079 299	−0.185 790	0	+1F
32W75	0.986 773	−0.497 240	−2.714 940	−1.457 780	0.878 733	−0.217 420	1	−1F
53E8	−0.256 900	−0.488 540	0.086 571	−0.341 460	−0.231 260	−0.226 810	1	−1R
35W84	−0.036 230	−0.300 140	−0.879 120	−2.445 660	0.495 370	−0.432 090	1	−2R
47E34	−2.404 760	0.536 982	0.483 372	0.496 613	−0.307 240	−0.650 600	0	+2F
34W36	−2.422 210	0.252 373	0.768 002	0.545 855	−0.538 020	−0.682 930	0	+1F
35W22	−2.118 660	−0.186 210	0.178 251	−0.059 170	0.223 908	−0.731 300	0	+2F
47W7	−0.991 370	−0.346 730	−2.134 780	−0.192 210	−1.096 070	−0.853 680	1	−1F
47W5	−2.340 810	−0.310 580	0.237 252	−0.438 830	0.214 188	−0.868 250	0	+2F
47E80	−3.789 900	−1.468 230	0.637 271	1.330 518	−0.315 620	−1.362 440	0	+1R

注：0 为非短枝型，1 为短枝型。R. 元帅；F. 富士；−2. 短枝最高级；−1. 短枝中间型；+2. 非短枝型最高级；+1. 非短枝型中间型。

Note: 0 means this seedling is spur-type apple; 1 means this seedling is non spur-type apple. R. Red Delicious; F. Fuji; −2. Spur; −1. Medium spur; +2. Non spur; +1. Medium non spur.

3 讨　论

3.1 苹果的树型分类及改良

树型的分类始于20世纪60年代，最早用于热带林木形态特征的界定，涉及了22个模型或类别[28]。直到70年代，法国的Lespinasse根据苹果的生长习性（从直立至下垂）和结果习性（短枝等）将苹果的树型分为20类[29]，并明确地列举了每种类型的代表品种，但是因采用砧木的不同，嫁接的品种类型划分有所差异[28]，同为元帅系的元帅、首红及俄勒冈短枝也被划分为不同类型，由此可见该划分方式缺乏遗传学依据。笔者根据苹果杂种后代的表现，将其短枝类型划为宫崎短枝富士（F）、新红星（R）各自的中间型，新红星的后代多在果台枝上着生短果枝，并连续结果，宫崎短枝富士则生长出较长的果台副梢，上面着生许多短果枝，因此不能简单归为短枝，再一步细化这些差异，或将更有利于后期的数据分析和基因发掘。

当前苹果描述评价过程中，通常依据结果习性分为5类，如新红星的短枝型、金冠的普通型、瑞光的顶端结果型、满堂红的中间型（似短枝型）和芭蕾苹果的柱型[30]。其中以柱型苹果的遗传解析最为清晰，认为该树型是由显性主基因 *Co* 控制，位于Chr10，并且与反转录转座子和2OG-Fe(II) 加氧酶的调控紧密相关[31]；其次，遗传改良应用较多的则是短枝型品种新红星，研究发现其后代出现了连续变异[32]，发掘出一批相关的QTL[33]，而遗传机制尚不明确。另外，近年来部分研究人员尝试通过垂枝型苹果的遗传解析来改良苹果树型[34]。

3.2 苹果的枝芽形态指标分析

性状的遗传变异分析是指导果树育种工作的理论基础。多年来，苹果性状的研究主要集中于果实品质、童期、抗性等方面[10]，而在树型改良方面，以柱型苹果进展最大，其次为短枝型苹果的研究[23,35-36]，因为短枝型苹果的枝芽形态更为复杂[31,37]。

笔者在本研究中首次对苹果杂种后代材料的枝芽形态指标进行了概率分级，发现以节间长度<1.93 cm为短节间类型，与前人对苹果品种资源的标准基本一致[20]；萌芽率>49.34%，即为萌芽率高的类型，比前人的结果低了近20%。差异检验表明，萌芽率、枝条长度和枝条基部粗度，可作为苹果杂种后代枝条生长量评价的参考指标，尤其是萌芽率＞50%，即为高萌芽率类型。

此外，对各指标间的相关性分析发现，各指标之间都存在着一定的相关性，表明各形态指标提供的信息发生重叠，因此，笔者支持综合运用多项指标分析进行短枝型类型的鉴别[21-23]。与此同时，通过因子分析，将影响枝条的形态指标拆解成长度因子（短枝率、枝条长度、尖削度）、空间密布因子（萌芽率和平均成枝数）、节长因子（节间长度）、节度因子（总芽数）和粗度因子（枝条基部粗度）5类因子，有助于枝芽形态等复杂性状的解析。

3.3 短枝型苹果的早期鉴别

自1921年短枝型苹果首次发现，先后建立了形态指标法、酶谱法、内源激素法和分子标记法4种方法鉴别短枝型苹果[6]。其中，形态指标法仍为目前短枝型苹果鉴别最基本、准确的方法，它通常以测试材料结果后植株的形态特征进行划分，高接到结果观察往往需3~5 a或更长[30]，因此人们尝试着进行早期鉴别。如根据一年生实生树主干中上部膨大与否来鉴别[18]，但有学者发现一年生苹果实生树的形态与后期表型无显著相关性[19]，也有学者提出，可以通过2~3 a生树的形态进行早期预测[28]，笔者同意后者。关于评价指标，起先以节间长度在2 cm以内、萌芽率不低于70%、短枝系数不少于50和成枝数1~2个等指标来鉴别[21]，但在研究中发现，一些品种，如宫崎短枝富士的个别指标（节间长度等）远大于阈值而难以归入短枝类型[22]。近年来，法国学者利用拓扑学和几何学对形态指标进行调查及必要的数据转换，再进行逐次聚类分析，率先将苹果杂种分离群体分为7类，其中2类鉴别为短枝型[21]，由于其余种类的归属较为复杂，则不能很好划分。

主成分分析将复杂的评价指标全面综合，又大大简化，已开始在我国苹果果品品质评价中应用[38]，但在苹果短枝型的类型评价过程中未见报道。为此，笔者利用主成分分析法，通过对幼树期（3年生）枝芽性状的形态特征指标进行分析，将8项形态指标简化为5项，再计算调查单株主成分的综合得分，而后根据得分数值进行类型鉴别，经成年期（10年生时）再次确证，最终发现鉴别结果与幼树期枝芽形态表型判定结果基本符合，符合率为86.9%。

总之，本文基于主成分分析的形态指标法，通过杂种实生后代幼树单株枝条性状的主成分分析筛选短枝型种质，可避免单一指标的片面性和不稳定性，

还可为苹果后代短枝型的选择和评价提供一种新方法和新思路。

4 结 论

采用概率分级的方法对苹果杂种后代枝条的萌芽率、枝条长度及枝条基部粗度进行评价，或可为苹果枝芽形态特征的解析提供新的参考依据。同时，苹果杂种后代枝条形态特征指标间的信息重叠，不能直接或用单一指标准确评价枝芽特性，因此运用因子分析法，将8个形态指标综合成为长度、空间、节长、节度和粗度等5类因子，而后根据主成分分析得分值鉴别其单株类型，符合率超过85%。

参考文献 References：

[1] GUO W，CHEN L M，HERRERA-ESTRELLA L，CAO D，TRAN L S P. Altering plant architecture to improve performance and resistance[J]. Trends in Plant Science，2020，25(11): 1154-1170.

[2] HOLLENDER C A，DARDICK C. Molecular basis of angiosperm tree architecture[J]. New Phytologist，2015，206(2): 541-556.

[3] 谭彬，程钧，郑先波，王志强，冯建灿 . 桃树树型及其调控关键基因研究进展[J]. 果树学报，2020，37(4): 599-605.
TAN Bin，CHENG Jun，ZHENG Xianbo，WANG Zhiqiang，FENG Jiancan. Progress on tree architecture and key genes of its regulation in peach[J]. Journal of Fruit Science，2020，37(4): 599-605.

[4] 韩德铎 . 桃树矮化生理生化机制短枝型桃对干旱的适应性研究[D]. 青岛: 莱阳农学院，2005.
HAN Deduo. Studies on the physiological and biochemical mechanism and the adaptability to drought stress in dwarfing peach[D]. Qingdao: Laiyang Agricultural College，2005.

[5] 许杉杉 . 枣实生后代短枝型筛选及初选优株主要性状的研究[D]. 保定：河北农业大学，2014.
XU Shanshan. Study on the screening of spur-type of *Zizyphus jujuba* Mill. seedlings and the main characteristics of the primary selected excellent individuals [D]. Baoding: Agricultural University of Hebei，2014.

[6] 张朝红，赵同生，陈东玫，杨凤秋，赵国栋，赵永波 . 短枝型苹果研究进展[J]. 北方园艺，2015(18)：206-210.
ZHANG Chaohong，ZHAO Tongsheng，CHEN Dongmei，YANG Fengqiu，ZHAO Guodong，ZHAO Yongbo. Research advances on spur-type apple[J]. Northern Horticulture，2015(18): 206-210.

[7] 张恒涛，BUS V G M，张亚茹，王欢，王美丽，BOWATTE D，GARDINER S E，CHAGNÉ D，KIRK C，KUMAR S，王大江，张瑞萍，周喆，YAO J L，阎振立 . 中国实生和无性系苹果砧木及其杂交后代矮化基因型分子鉴定[J]. 果树学报，2020，37(12): 1779-1786.
ZHANG Hengtao，BUS V G M，ZHANG Yaru，WANG Huan，WANG Meili，BOWATTE D，GARDINER S E，CHAGNÉ D，KIRK C，KUMAR S，WANG Dajiang，ZHANG Ruiping，ZHOU Zhe，YAO J L，YAN Zhenli. Genotyping of Chinese seedling and hybrid apple rootstocks and it's progenies for the dwarfing trait[J]. Journal of Fruit Science，2020，37(12): 1779-1786.

[8] 王金政，毛志泉，丛佩华，吕德国，马锋旺，任小林，束怀瑞，李保华，郭玉蓉，郝玉金，姜远茂，张新忠，杨欣，曹克强，赵政阳，韩振海，霍学喜，魏钦平 . 新中国果树科学研究 70 年：苹果[J]. 果树学报，2019，36(10): 1255-1263.
WANG Jinzheng，MAO Zhiquan，CONG Peihua，LÜ Deguo，MA Fengwang，REN Xiaolin，SHU Huairui，LI Baohua，GUO Yurong，HAO Yujin，JIANG Yuanmao，ZHANG Xinzhong，YANG Xin，CAO Keqiang，ZHAO Zhengyang，HAN Zhenhai，HUO Xuexi，WEI Qinping. Fruit scientific research in New China in the past 70 years: Apple [J]. Journal of Fruit Science，2019，36(10): 1255-1263.

[9] LAPINS K O，FISHER D V. Four natural spur-type mutants of Mclntosh apple[J]. Canadian Journal of Plant Science，1974，54(2): 359-362.

[10] 束怀瑞 . 苹果学[M]. 北京: 中国农业出版社，1999：157-160.
SHU Huairui. Apple science[M]. Beijing: China Agriculture Press，1999: 157-160.

[11] WARRINGTON I J，FERREE D C，SCHUPP J R，JR F G，BAUGHER T A. Strain and rootstock effects on spur characteristics and yield of 'Delicious' apple strains[J]. Journal of the American Society for Horticultural Science，1990，115(3): 348-356.

[12] DRAKE S R，ELVING D C，FALLAHI E. Fruit quality of spur-type and nonspur-type 'Delicious' apple strains[J]. Journal of American Pomological Society，2001，55(4): 209-215.

[13] TAMAI H，ONO T，KOIKE H，SHIGEHARA I. Field performance of 'Seirin-spur'，a spur type strain of 'Fuji'，under high density planting[J]. Horticultural Research，2002，1(1): 59-62.

[14] CHAUHAN J S，SHARMA L K. Productivity and fruit quality of some spur type apple cultivars under a high density system [J]. Acta Horticulturae，2008，772: 195-198.

[15] 韩振海 . 苹果矮化密植栽培: 理论与实践[M]. 北京: 科学出版社，2011: 259.
HAN Zhenhai. Apple cultivation with dwarf varieties and close spacing: theory and practice[M]. Beijing: Science Press，2011: 259.

[16] 艾炳伟 . '成纪 1 号'短枝富士的品种特性与宽行高干无支架栽培试验研究[D]. 杨凌：西北农林科技大学，2018.
AI Bingwei. Valuation and wide-row high-trunk cultivation of 'Chengji No.1' Fuji apple trees[D]. Yangling: Northwest Agriculture and Forestry University，2018.

[17] 董铁，刘兴禄，孙文泰，尹晓宁，牛军强，马明 . 4 个短枝型富士苹果新品种在静宁县的表现[J]. 甘肃农业科技，2019(12): 4-7.

DONG Tie，LIU Xinglu，SUN Weitai，YIN Xiaoning，NIU Junqiang，MA Ming. Performance of four new Fuji apple varieties with spur type in Jingning county[J]. Gansu Agricultural Science and Technology，2019(12): 4-7.

[18] ZHANG G H，WANG G H，ZHANG Q Y，ZHANG W Q，TANG X Z. Pre-selection of seedling for spur type apples[J]. Acta Horticulturae，1983，140: 63-72.

[19] WIT I D，COOK N C，KEULEMANS J. Characterization of tree architecture in two-year-old apple seedling populations of different progenies with a common columnar gene parent[J]. Acta Horticulturae，2004，663: 363-368.

[20] 汪景彦，杨有龙 . 苹果短枝型研究[M]. 北京: 中国农业科技出版社，1988：5-6.
WANG Jingyan，YANG Youlong. Studies on spur type apple [M]. Beijing: China Agricultural Science and Technology Press，1988: 5-6.

[21] SEGURA V，CILAS C，LAURENS F，COSTES E. Phenotyping progenies for complex architectural traits: a strategy for 1-year-old apple trees (*Malus* × *domestica* Borkh.) [J]. Tree Genetics & Genomes，2006，2(3): 140-151.

[22] 张新忠，张建阁，白景春 . 苹果品种资源短枝比率与节间长度性状的动态聚类分析[J]. 华北农学报，1995，10(S1): 181-185.
ZHANG Xinzhong，ZHANG Jiange，BAI Jingchun. Cluster analysis of spur proportion and internode length of *Malus domestica* cultivar resource[J]. Acta Agriculturae Boreali-Sinica，1995，10(S1): 181-185.

[23] 贾定贤，陈素芬，张凤兰 . 短枝型苹果品种鉴别指标的可靠性[J]. 中国果树，1989(3): 33-35.
JIA Dingxian，CHEN Sufen，ZHANG Fenglan. Reliability of identification indexes for spur-type apple[J]. China Fruits，1989 (3): 33-35.

[24] 张文，李光晨，朱元娣，赵玉军，王涛 . 柱型苹果杂种实生苗几个形态指标与柱型性状的关系[J]. 果树学报，2002，19(4): 265-266.
ZHANG Wen，LI Guangchen，ZHU Yuandi，ZHAO Yujun，WANG Tao. Relationship among several morphological indexes and columnar character of hybrid seedling from columnar apple tree[J]. Journal of Fruit Science，2002，19(4): 265-266.

[25] ZHANG X Z，ZHAO Y B，LI C M，CHEN D M，WANG G P，CHANG R F，SHU H R. Potential polyphenol markers of phase change in apple (*Malus domestica*) [J]. Journal of Plant Physiology，2007，164(5): 574-580.

[26] 王昆，刘凤之，曹玉芬 . 苹果种质资源描述规范和数据标准[M]. 北京：中国农业出版社，2005: 50-55.
WANG Kun，LIU Fengzhi，CAO Yufen. Descriptors and data standard for apple (*Malus* spp. Mill.)[M]. Beijing: China Agriculture Press，2005: 50-55.

[27] 刘孟军 . 枣树数量性状的概率分级研究[J]. 园艺学报，1996，23(2): 105-109.
LIU Mengjun. Studies on the variations and probability grading of major quantitative characters of Chinese jujube[J]. Acta Horticulturae Sinica，1996，23(2): 105-109.

[28] LAURI P E，LAURENS F. Architectural types in apple (*Malus×domestica* Borkh.) [M]//DRIS R. Crops: Growth，Quality and Biotechnology. Helsinki，Finland: WFL Publisher，2005: 1300-1313.

[29] LESPINASSE J M，DELORT J F. Apple tree management in vertical axis: appraisal after ten years of experiments[J]. Acta Horticulturae，1986，160: 139-155.

[30] WATKINS R，SMITH R A. Apple descriptors[M]. Brussels: CEC Secretariat，1982.

[31] HILL J L，HOLLENDER C A. Branching out: new insights into the genetic regulation of shoot architecture in trees[J]. Current Opinion in Plant Biology，2019，47: 73-80.

[32] 张朝红，杨凤秋，陈东玫，赵同生，张新生，李春敏，赵永波 . 新红星与宫崎短枝富士正反交后代枝条主要性状的遗传分析[J]. 河北农业大学学报，2014，37(3): 39-43.
ZHANG Chaohong，YANG Fengqiu，CHEN Dongmei，ZHAO Tongsheng，ZHANG Xinsheng，LI Chunmin，ZHAO Yongbo. Genetic analysis of some shoot traits in reciprocal crosses generation between Starkrimson and Miyazaki Spur[J]. Journal of Agricultural University of Hebei，2014，37(3): 39-43.

[33] SEGURA V，DUREL C E，COSTES E. Dissecting apple tree architecture into genetic，ontogenetic and environmental effects: QTL mapping[J]. Tree Genetics & Genomes，2009，5(1): 165-179.

[34] DOUGHERTY L，SINGH R，BROWN S，DARDICK C，XU K N. Exploring DNA variant segregation types in pooled genome sequencing enables effective mapping of weeping trait in *Malus* [J]. Journal of Experimental Botany，2018，69(7): 1499-1516.

[35] SEGURA V，KELNER J J，LAURI P E，COSTES E. Towards a strategy for phenotyping architectural traits in mature F_1 hybrids of an apple progeny[J]. Acta Horticulturae，2009，814: 169-176.

[36] 宋杨，张艳敏，吴树敬，冯守千，王传增，陈学森 . 短枝型苹果赤霉素受体基因 *MdGID1a* 及其启动子克隆和表达分析[J]. 园艺学报，2013，40(11): 2237-2244.
SONG Yang，ZHANG Yanmin，WU Shujing，FENG Shouqian，WANG Chuanzeng，CHEN Xuesen. Cloning，expression analysis of *MdGID1a* gene and promoter from spur-type apple[J]. Acta Horticulturae Sinica，2013，40(11): 2237-2244.

[37] WANG B，SMITH S M，LI J Y. Genetic regulation of shoot architecture[J]. Annual Review of Plant Biology，2018，69(1): 437-468.

[38] 聂继云，李志霞，李海飞，李静，王昆，毋永龙，徐国锋，闫震，吴锡，覃兴 . 苹果理化品质评价指标研究[J]. 中国农业科学，2012，45(14): 2895-2903.
NIE Jiyun，LI Zhixia，LI Haifei，LI Jing，WANG Kun，WU Yonglong，XU Guofeng，YAN Zhen，WU Xi，QIN Xing. Evaluation indices for apple physicochemical quality[J]. Sientia Agricultura Sinica，2012，45(14): 2895-2903.