

苹果杂交 F_1 代抗褐斑病遗传趋势及 抗性选择研究

党志国,赵政阳,万怡震,高 华,王雷存,祁 楠

(西北农林科技大学 园艺学院,陕西 杨凌 712100)

【摘 要】 【目的】探讨苹果抗褐斑病遗传趋势及杂种抗性选择,为苹果杂交育种的抗病性早期选择提供理论依据。【方法】以苹果品种秦冠、富士及其杂交 F_1 代为材料,连续 3 年对苹果褐斑病(*Marssonina coronaria* (Ell. Et Davis) Davis)发生规律进行田间鉴定和调查,研究了苹果褐斑病遗传趋势及杂种抗性表现。【结果】苹果杂交 F_1 代褐斑病病情指数表现广泛分离,呈现偏正态分布规律,苹果褐斑病是主基因控制和微效多基因共同作用的数量性状;正反交组合之间抗性差异显著,平均病情指数 31.7, F_1 代抗病植株占 49.1%,其中高抗($DI < 5$)单株比率为 7.0%,高感($DI > 50$)单株比率为 14.6%;不同年份间群体平均病情指数相关系数达 0.78~0.85,达到显著或极显著相关,大部分植株抗性表现稳定,病害发生周期内 8 月底是植株个体抗性鉴定的最佳时期。【结论】苹果褐斑病遗传符合数量性状遗传规律,杂种抗性表现型丰富,早期抗性选择和淘汰能有效提高育种效率。

【关键词】 苹果;褐斑病;抗性选择

【中图分类号】 S661.103

【文献标识码】 A

【文章编号】 1671-9387(2010)05-0137-06

Study on the inheritance tendency of apple resistance to brown spot disease and resistance selection

DANG Zhi-guo, ZHAO Zheng-yang, WAN Yi-zhen,

GAO Hua, WANG Lei-cun, QI Nan

(College of Horticulture, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: 【Objective】 The study was conducted to evaluate the inheritance tendency of apple resistance to brown blot disease(*Marssonina coronaria* (Ell. Et Davis) Davis) and to select the disease resistant F_1 hybrids, and to provide theoretical foundation for pre-selection of disease resistance in apple crossbreeding. 【Method】 The apple cultivars Qinguan, Fuji and F_1 progenies were assessed for brown blot resistance following natural infection in the field during three successive years. 【Result】 Apple brown blot disease is quantitative trait which is controlled by main gene and interacted by polygene, resistance difference is conspicuous between obverse cross and inverse cross; The individuals of F_1 spread widely, and show partial normal distribution. The average disease index is 31.7 and the resistance of the offspring is not good. The rate of resistable plants is 49.1%, the rate of high-resistance($DI < 5$) plant 7.0%, the rate of high-infection($DI > 50$) plant 14.6%, and the threshold of eliminated deeply-resistance 14.6%; the correlation coefficient of colony average disease index in different years is 0.78—0.85, reaching significant difference. The resistance of a majority of plants is stable, the latter of August during which disease occurs is the best time to i-

* 【收稿日期】 2010-01-26

【基金项目】 国家现代农业技术体系专项(nycytx-08-01-03);国家科技支撑计划项目(2006BAD01A1704-8);陕西省“13115”科技创新工程项目(2008ZDGC-01)

【作者简介】 党志国(1979—),男,山西朔州人,在读博士,主要从事果树育种与遗传改良研究。

【通信作者】 赵政阳(1964—),男,陕西富平人,教授,博士生导师,主要从事苹果育种与遗传改良研究。

E-mail: Zhaozy@nwsuaf.edu.cn

dentify resistance of plant.【Conclusion】Apple brown blot disease accords with the rule of quantitative trait heredity, crossbreeding has abundant resistance character, and early disease resistance selection and elimination can advance the efficiency of breeding.

Key words: apple; brown spot disease; resistance-selection

抗病性是苹果育种的一个重要目标,自 20 世纪 80 年代以来,苹果抗病育种研究日益受到重视^[1]。在国外,美国从 1945 年开始由 3 所大学合作成立 PRI 联合苹果育种计划,以培育抗“火疫病、黑星病”苹果新品种为主攻方向做了大量的研究,历经 50 多年已培育出 40 多个抗病品种^[2];欧洲于 20 世纪 90 年代创立 DARE(durable apple resistance in Europe)项目,主要以抗“黑星病、白粉病”为主要育种目标,也取得了很大成就^[3-5];新西兰、澳大利亚传统上在苹果抗病育种方面研究较少,其主要侧重于苹果品质育种,但近几年也加大了优质抗病苹果育种研究力度^[6];日本从 1972 年起,在苹果砧木抗性育种方面做了大量的研究,主要以“矮化、抗颈腐病、腐烂病”等为育种目标进行了砧木的改良研究^[7]。然而,在国内苹果抗病育种研究甚少,只有沙守峰等^[8]、阎振立等^[9]对苹果抗粗皮病和轮纹病做了一些研究。

目前,国外普遍采用人工接种方法,对苹果杂交 F₁ 代(黑星病、白粉病等)实生幼苗进行抗性选择和淘汰^[10];将苹果炭疽病菌孢子接种在一年生枝条上,可以预测果实对炭疽病的抗性^[11];Janse 等^[12]认为,对二年生苹果杂种苗进行抗白粉病的早期选择是可行的,后代个体的抗病性主要取决于基因型,但是杂交群体和树龄在一定程度上影响选择的有效性。人工接种方法虽然能快速鉴定植株抗性,但是由于植株对不同病理小种的抗性存在多样性,使该方法在抗性鉴定方面不可避免地存在片面性,而田间自然感病能更准确地代表植株的抗性。

早期落叶病是我国苹果生产中最为严重的病害

表 1 苹果褐斑病病害分级标准

Table 1 Standard of classification on apple brown spot disease

病级代表值 Value of grade	病斑面积占叶面积比例(X)/% Percentage of the disease spot in total leaf	病斑叶片参考指标 Severity
0	X=0.0	叶面无病斑 Disease spot proportion is 0
1	0.0<X≤10.0	病斑面积占叶面积 1/10 Disease spot proportion is 1/10
3	10.0<X≤25.0	病斑面积占叶面积 1/4 Disease spot proportion is 1/4
5	25.0<X≤50.0	病斑面积占叶面积 1/2 Disease spot proportion is 1/2
7	50.0<X≤75.0	病斑面积占叶面积 3/4 Disease spot proportion is 3/4
9	X>75.0	病斑面积占叶面积大部分 Disease spot proportion more than half

将病级按下式换算成病情指数:

病情指数(DI)=100(1N₁+3N₂+5N₃+7N₄+9N₅)/TS,

之一,其中以褐斑病和斑点落叶病发生最严重。该病大流行时,造成大片果树中下部叶片脱落,枝梢上苹果暴露在外,群众称作“糖葫芦”。早期落叶病严重影响苹果树的正常生长、花芽形成、果实增大和翌年苹果的产量与品质^[13]。目前,国内外关于苹果褐斑病遗传及育种研究很少,对大群体杂交后代如何进行早期抗性选择,以加速优质抗病育种进程是一个迫切需要探讨和研究的问题。为此,本文以秦冠和富士正反交 F₁ 代为材料,研究了苹果褐斑病抗性遗传趋势及杂种抗性的早期选择,旨在揭示苹果褐斑病的遗传规律,并在苹果抗病育种中应用,以期为提高苹果优质抗病育种效率提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试材料均取自西北农林科技大学白水苹果试验站。2004 年春进行杂交,以秦冠和富士为亲本进行正反交,2005 年春播种、定植,获得 4 020 株杂交实生苗,其中秦冠×富士(正交)组合 2 300 株,富士×秦冠(反交)组合 1 720 株,株行距为 30 cm×80 cm,常规管理,在研究期间不喷施任何杀菌剂。本试验随机选取正交 385 株,反交 322 株,其亲本于 2005-08 嫁接于同一苗圃内,各嫁接 5 株,砧木为 M26。

1.2 试验方法

1.2.1 苹果褐斑病分级标准 苹果褐斑病调查标准参照《农业部新农药田间药效试验准则》中斑点病的分级标准,如表 1 所示。

式中:N_i 为对应病级的叶片数,T 为统计总叶片数,

S 为最高病级代表值,本试验中 S 为 9。

抗病植株比率 = 抗病株数/调查总株数 × 100%。

病害发展的时间动态:选取秦冠×富士组合 1 行 67 株,从 2007-07-10—09-30,每隔 10 d 调查 1 次苹果褐斑病发病程度,计算病情指数,以病情指数为纵坐标,调查时间为横坐标,绘制苹果褐斑病发展时间动态曲线。

1.2.2 苹果杂交 F₁ 代病情调查 分别于 2006—2008 年在苹果早期落叶病的发病盛期,即 7 月中旬至 9 月中旬进行 3 次调查,取平均值。二年生杂交苗的调查:每棵树调查的叶片总数不少于 70 片,不足 70 片的单株全部调查;三、四年生杂交苗的调查:距地面 120 cm 左右,按 4 个方位调查不少于 100 个叶片,统计各级病叶数,计算病情指数。

植株抗病性标准参考王昆等^[14]的方法,根据叶片褐斑病病情指数,将其抗褐斑病的程度分为 5 级(表 2)。

表 3 苹果杂交 F₁ 代亲本抗性评价
Table 3 Resistance evaluation of F₁ parents

品种 Variety	病情指数 Disease index				抗性级别 Level of resistance	表现型 Phenotype
	2006 年 2006 year	2007 年 2007 year	2008 年 2008 year	平均 Average		
秦冠 Qinguan	15.4	17.0	16.5	16.3 A	3	中抗 MR
富士 Fuji	37.8	40.4	38.6	38.9 B	4	感病 S

注:同列不同大写字母表示差异极显著($P<0.01$)。

Note: Different capital letters in the same column mean significant difference at 1% level.

2.2 苹果杂交 F₁ 代病情指数的分布

从图 1 可以看出,苹果杂交实生苗 F₁ 代褐斑病病情指数发生广泛的分离,呈连续性分布,对杂交后代病情指数进行 χ^2 ($\chi^2=1.49<\chi^2_{0.05}=3.84$) 检验,

表 2 苹果抗褐斑病程度分级
Table 2 Classes of resistance to apple brown spot disease

级别 Class	抗病程度 Level of resistance	病情指数 Disease index
1	高抗(HR)High resistance	0<DI≤5.0
2	抗病(R)Resistance	5.0<DI≤10.0
3	中抗(MR)Middle resistance	10.0<DI≤30.0
4	感病(S) Susceptible	30.0<DI≤50.0
5	高感(HS)High susceptible	50.0<DI≤100.0

1.2.3 数据处理 运用 DPS7.05 数据分析统计软件和 Excel 对试验数据进行处理。

2 结果与分析

2.1 苹果杂交 F₁ 代亲本抗性评价

由表 3 可以看出,富士苹果叶片 3 年的平均病情指数明显高于秦冠,是秦冠的 2.3 倍,差异达到极显著水平。秦冠对褐斑病的抗性明显高于富士,依据抗性标准秦冠属于(3 级)中抗品种,富士属于(4 级)感病品种。

其符合偏正态分布,初步确定秦冠和富士正反交组合对褐斑病的抗性表现为主基因控制、微效多基因共同作用的数量性状遗传。

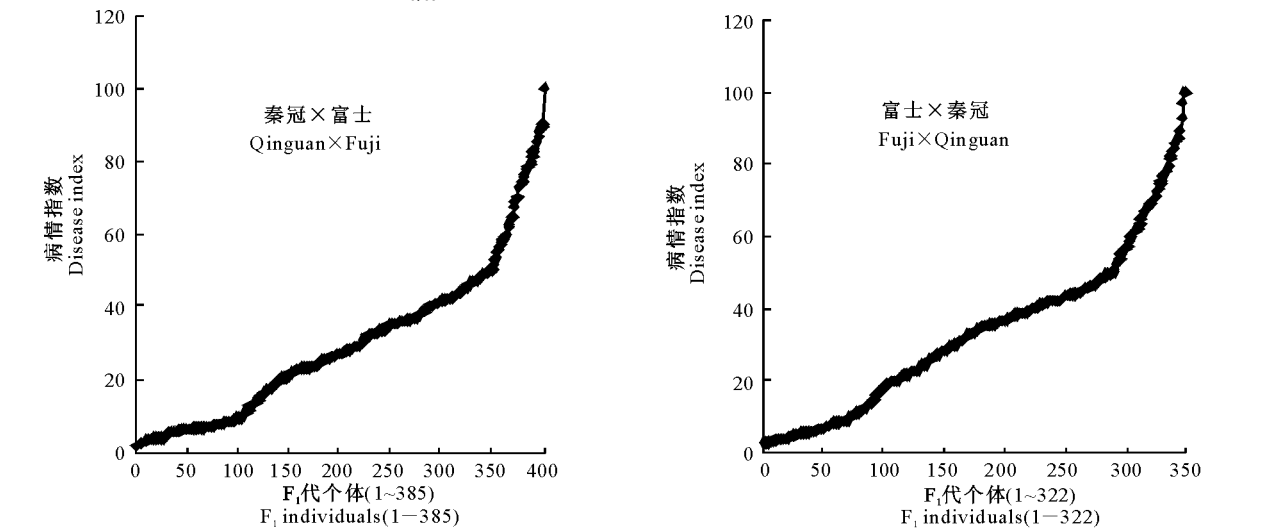


图 1 苹果杂交 F₁ 代病情指数的分布
Fig. 1 Distribution of average disease index of F₁ progenies

2.3 苹果杂交 F₁ 代抗性评价

从表 4 可以看出,通过连续 3 年抗病性比较发现,正交(秦冠×富士)和反交(富士×秦冠)后代对褐斑病的抗病性存在一定差异。苹果褐斑病平均病情指数 31.7,正交组合平均病情指数(27.4)显著小于反交组合(36.1),说明以抗病亲本秦冠为母本,其杂交后代群体抗病性较高。F₁ 代抗病植株占 49.1%,其中高抗单株比率为 7.0%,高感单株比率为 14.6%。

表 4 苹果杂交 F₁ 代抗性评价

Table 4 Resistance evaluation of F₁ generation

亲本组合 The combination of parents	平均 病情指数 The average DI of hybrids	抗病程度 Level of resistance					总株数 Total number	F ₁ 抗病 植株比率/% The percentage of resistable plants in F ₁ generation	平均感 病级次 Average level of resistance
		抗病 Resistance			感病 Susceptible				
		1	2	3	4	5			
秦冠×富士 Qinguan×Fuji	27.4 a	30	73	110	124	48	385	44.7 a	3.2 a
富士×秦冠 Fuji×Qinguan	36.1 b	19	49	82	118	54	322	53.6 b	4.1 b

注:同列不同小写字母表示差异显著(P<0.05)。
Note: Different small letter by the same column means significant at 5% level.

2.4 苹果褐斑病发展的时间动态

由图 2 可以看出,苹果褐斑病在整个病害发生季节从 7 月中旬开始病害程度逐渐增加,到 8 月底达到最大值。苹果褐斑病菌主要侵染中下部老叶片,8 月份出现高温多雨季节时,中下部老叶片开始大量发病,此时叶片开始脱落,植株不同基因型个体的抗性明显表现出来。因此 8 月底是鉴定植株抗性的最佳时期,从拟合函数也能更精确地证实这一观点。

2.5 苹果杂交 F₁ 代不同年份褐斑病发病情况

从表 5 可以看出,通过连续 3 年调查,每 2 年间病情指数的相关系数均达到了显著或极显著相关。实生苗树龄在 1~4 年生之间的抗性相关性均达到

了显著水平,说明杂交实生苗在 1~4 年生期间对褐斑病的抗性表现趋势一致,不同年份间的相关性差异可能是环境因素影响造成的。

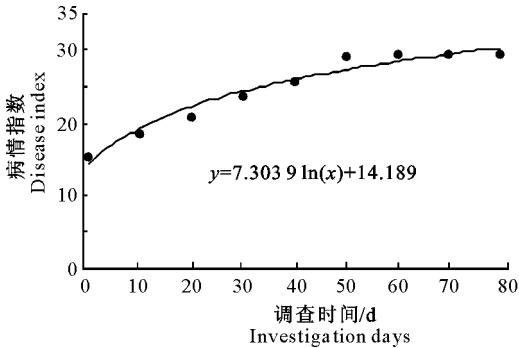


图 2 苹果褐斑病发展的时间动态

Fig. 2 Temporal dynamic of apple brown disease

表 5 苹果杂交 F₁ 代不同年份间抗病性的相关分析(2006—2008 年)

Table 5 Correlation analysis of disease resistance in 2006—2008

组合 The combination of parents	杂种株数 The number of hybrids	2006 年/2007 年 2006 year/2007 year	2006 年/2008 年 2006 year/2008 year	2007 年/2008 年 2007 year/2008 year
秦冠×富士 Qinguan×Fuji	385	0.854 8**	0.794 3*	0.826 9**
富士×秦冠 Fuji×Qinguan	322	0.832 9**	0.811 6**	0.781 7*

注: ** 代表极显著相关性, * 代表显著相关性。
Notes: ** means highly significant correlation, * means significant.

3 讨 论

3.1 果树抗病性遗传

关于苹果主要病害(白粉病、黑星病、火疫病等)抗性遗传,国外育种者做了大量的工作^[15-18],但在抗

性遗传方面观点不尽相同: Kemp 等^[19]认为,苹果黑星病存在水平和垂直抗性,水平抗性杂交后代抗病株率较低,垂直抗性表现为单基因显性,但是生产实践证明,许多抗病品种在接种新的病理小种时表现易感,暴露出单基因抗性的弱点; Lesemann 等^[20]认

为,多数品种抗白粉病表现为数量性状遗传,品种间杂交很难选出免疫类型;Kasa 等^[21]认为,品种间对苹果火疫病的感病性差异很大,但没有完全免疫的品种类型,受多基因控制。本研究结果表明,苹果抗褐斑病是由主基因控制的数量性状,正反交组合存在抗性差异,推测存在部分胞质遗传;杂交后代呈连续分布,并与亲本抗性水平密切相关,F₁ 代个体抗病性有较大的分离,说明苹果对褐斑病的抗性可以通过亲本遗传给后代,且抗性存在母性遗传的趋势。抗病性是多基因或者数量性状控制的,符合生物进化趋势。研究证明,单基因控制的抗病性在进化中被寄生物克服从而被淘汰,只有存在多基因或数量性状控制的抗性个体才会保留下来^[22]。因此,多基因或者数量性状控制的抗病性较单基因控制的抗病性在进化上更有优越性。

3.2 抗病性早期选择

抗病性早期选择的有效性依赖于果树幼年期与成年期的抗性表现是否一致,以及病原菌对果树不同年龄时期的侵害和反应没有显著差异^[23]。研究表明,葡萄对霜霉病的抗性,幼苗期和成年期的表现是一致的,对 6~8 片叶的实生苗进行的抗性鉴定结果也可靠;苹果对黑星病和赤星病在第 1 片真叶即可用于接种鉴定^[24]。但不同品种在个体发育过程中的不同阶段对某些病害的抗性表现可能会出现变化。Janse 等^[12]研究认为,苹果杂交后代在苗圃内进行抗白粉病的预先选择是可行的,但是杂种一年生时在苗圃内进行抗白粉病的早期选择不可靠,在二年生时进行抗病性评价能很准确地预测成龄植株的抗性表现,利用后代群体的平均抗性作为标准进行选择更合理,选择的准确性随组合的不同和植株树龄的变化有所差异。本试验连续 3 年对苹果杂交后代进行抗性评价,结果表明杂交后代在不同年份间的发病程度有所差异,这是环境因素造成的,符合数量性状遗传特点。但多数苹果杂交后代个体在年份间抗性表现稳定,因此,苹果抗性评价和筛选仍需要采用多年数据,结果才更可靠。虽然对苹果抗性进行早期筛选以提高育种效率得到越来越多的应用,但在选择强度和淘汰比率上没有一个确切的阈值,苹果砧木抗火疫病接种鉴定可以淘汰高达 98% 的幼苗,但在接穗品种上淘汰比率一般不会超过 15%^[25]。因为抗性作为早期选择指标是一种负淘汰法,加之优质和抗性两大性状一般很难连锁遗传,所以仅用抗性作为选择指标淘汰比率不会太高,而且必须结合其他性状,如植株长势、野生性状、树形

等进行选择会更加科学。因此,高感且植株长势很弱的个体才是首先考虑要淘汰的对象。

[参考文献]

- [1] Susan K. Pome fruit: progress and prospects [J]. Acta Hort (ISHS), 2003, 622: 19-34.
- [2] 王宇霖. 关于我国苹果育种研究工作的几点想法 [J]. 果树学报, 2008, 25(3): 559-565.
Wang Y L. Some ideas about the apple breeding in China [J]. Journal of Fruit Science, 2008, 25(3): 559-565. (in Chinese)
- [3] Lespinasse Y, Durel C E, Laurens F, et al. A european project: D. A. R. E-durable apple resistance in europe [J]. Acta Hort (ISHS), 2000, 538: 476-482.
- [4] Ames K B. Some significant apple breeding stations around the world [B]. Bulletin of the Pacific Fruit Testers' Association, 1998: 124.
- [5] John W. Apple production trends in Europe [J]. Orchardist, 2000, 73(7): 14-16.
- [6] Satish K, Richard K, Peter A, et al. Development of a recurrent apple breeding programme in New Zealand: A synthesis of results, and a proposed revised breeding strategy [J]. Euphytica, 2009, 12: 91-106.
- [7] Oraguzie N C, Soejima J, Fukusawa-Akada T, et al. Apple breeding progress in Japan [J]. Acta Hort (ISHS), 2003, 622: 583-590.
- [8] 沙守峰, 伊 凯, 刘 志. 苹果抗粗皮病遗传研究 [J]. 果树学报, 2005, 22(专刊): 94-97.
Sha S F, Yi K, Liu Z. The inheritance of ring rot disease resistance in apple [J]. Journal of Fruit Science, 2005, 22(Sup.): 94-97. (in Chinese)
- [9] 阎振立, 张恒涛, 张全军, 等. 苹果抗轮纹病遗传的初步研究 [J]. 河南农业科学, 2009(7): 105-108.
Yan Z L, Zhang H T, Zhang Q J, et al. The preliminary study on the inheritance of ring rot disease resistance in apple [J]. Scientia Agricultura Henan, 2009(7): 105-108. (in Chinese)
- [10] Francois L, Christelle P. French apple breeding program: A new partnership between INRA and nurserymen of NOVADI [J]. Acta Hort (ISHS), 2003, 622: 575-581.
- [11] 沈德绪. 果树育种学 [M]. 2 版. 北京: 中国农业出版社, 1998: 127-131.
Shen D X. Fruit breeding [M]. 2nd ed. Beijing: China Agriculture Press, 1998: 127-131. (in Chinese)
- [12] Janse J, Verhaegh J J, Rmden N A. Early selection for partial resistance to powdery mildew, *Podosphaera leucotricha* (Ell. et Ev.) Salm in apple progenies [J]. Euphytica, 1994, 77: 7-9.
- [13] 李东鸿, 赵政阳, 赵惠燕, 等. 苹果早期落叶病发病规律与药剂防治研究 [J]. 西北农林科技大学学报: 自然科学版, 2005, 33(5): 76-80.
Li D H, Zhao Z Y, Zhao H Y, et al. The study of regularity of apple early defoliation disease and its control by fungicide [J]. Jour of Northwest Sci-Tech Univ of Agri and For: Nat Sci

Ed,2005,33(5):76-80. (in Chinese).

[14] 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,2005:69-70.
Wang K,Liu F Z,Cao Y F. Descriptors and data standard for apple (*Malus* spp. Mill) [M]. Beijing: China Agriculture Press,2005:69-70. (in Chinese)

[15] Brown A G. The inheritance of mildew resistance in progenies of the cultivated apple [J]. Euphytica,1959,8:81-88.

[16] Knight R L,Alston F H. Progress at east malling in breeding for resistance to apple mildew,*Podosphaera leucotricha* [J]. Annu Rpt E Malling Res Sta,1971:317-324.

[17] Thompson J M,Taylor J. Genetic susceptibility to *Glomerella* leaf blotch in apple [J]. Hered,1971,62:303-306.

[18] Quamme H A,Hampson C R,Hall J W,et al. Inheritance of apple scab resistance from polygenic sources based on greenhouse and field evaluation [J]. Acta Hort(ISHS),2003,622: 317-321.

[19] Kemp H,Vandermaas M P,Voorrips R E,et al. An assessment of the durability and susceptibility of scab resistance in apple cultivars [J]. Acta Hort(ISHS),2004,633:221-223.

[20] Lesemann S,Urbaniets A,Dunemann F,et al. Determining population variation of apple powdery mildew at the molecular level [J]. Acta Hort(ISHS),2004,633:199-203.

[21] Kasa K,Henesi M,Toth M. Evaluation of traditional hungarian apple cultivars as sources of resistance to fire blight [J]. Acta Hort(ISHS),2004,633:225-227.

[22] Pereira-Lorenzo S,Ramos-Cabrer A M,Fischer M. Breeding plantation tree crops: temperate species [M]. Germany: Springer,2009:34-39.

[23] Kellerhals M,Spuhler M,Duffy B,et al. Selection efficiency in apple breeding [J]. Acta Hort (ISHS),2007,814:177-184.

[24] 陈志远. 果树育种学 [M]. 北京:农业出版社,1978: 236-237.
Chen Z Y. Fruit breeding [M]. Beijing: Agriculture Press, 1978:236-237. (in Chinese).

[25] Robinson T. Performance of cornell-geneva apple rootstocks with‘liberty’ as the scion in NC-140 trials across North America [J]. Acta Hort(ISHS),2003,622:521-527.

(上接第 136 页)

[13] 沙凌杰,李正英,朱 丽,等. 反射仪-硝酸根试纸法现场速测蔬菜硝酸盐水平及其应用 [J]. 农业环境科学学报,2005,24 (5):994-999.
Sha L J,Li Z Y,Zhu L,et al. Nitrate test-strip-reflectometer for rapid testing vegetable nitrate level [J]. Agro-Environmental Science,2005,24(5):994-999. (in Chinese)

[14] 汤丽玲,陈 清,张宏彦,等. 采用试纸条-反射仪方法快速测定蔬菜硝酸盐含量 [J]. 北方园艺,2001(5):9-10.
Tang L L,Chen Q,Zhang H Y,et al. Nitrate test-strip-reflectometer for rapid testing vegetable nitrate content [J]. Northern Horticulture,2001(5):9-10. (in Chinese)

[15] 鲍士旦. 土壤农化分析 [M]. 北京:中国农业大学出版社, 2007:263-268.
Bao S D. The agricultural chemical analysis of soil [M]. Beijing: Chinese Agriculture University Public, 2007: 263-268. (in Chinese)

[16] 闵 炬,施卫明. 不同施氮量对太湖地区大棚蔬菜产量、氮肥利用率及品质的影响 [J]. 植物营养与肥料学报,2009,15 (1):151-157.
Min J,Shi W M. Effects of different N rates on the yield,N use efficiency and fruit quality of vegetables cultivated in plastic greenhouse in Taihu lake region [J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science,2009,15(1):151-157. (in Chinese)

[17] 赵 营,同延安,赵护兵. 不同施氮量对夏玉米产量、氮肥利用率及氮平衡的影响 [J]. 土壤肥料,2006,12(5):622-627.
Zhao Y,Tong Y A,Zhao H B. Effects of different N rates on nutrients accumulation,transformation and yield of summer maize [J]. Soil and Fertilizer,2006,12(5):622-627. (in Chinese)

[18] 陈 祥,同延安,亢欢虎,等. 氮肥后移对冬小麦产量、氮肥利用率及氮素吸收的影响 [J]. 植物营养与肥料学报,2008,14 (3):450-455.
Chen X,Tong Y A,Kang H H,et al. Effect of postponing N application on the yield,apparent N recovery and N absorption of winter wheat [J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2008,14(3):450-455. (in Chinese)

[19] Ardell D H,Fran C S. Corn response to nitrogen fertilization in a soil with high residual nitrogen [J]. Agronomy Journal, 2005,97(4):1222-1229.