

日光温室杏果实发育规律研究^{*}

杨 恒, 魏安智, 杨途熙, 张 睿, 撒文清

(西北农林科技大学 林学院, 陕西 杨凌 712100)

[摘 要] 对日光温室与露地栽培的金太阳杏果实生长发育规律进行了观察与分析。结果表明, 日光温室栽培可使杏果实发育的第一速生期、第二速生期延长, 果实发育的缓慢生长期缩短, 整个生育期较露地栽培延长了 15 d; 日光温室内金太阳杏第一速生期的生长速率显著低于露地, 第二速生期的累积生长量显著高于露地; 较低的夜间温度是造成温室内杏果实第一速生期较长、生长较慢以及果实个体较大的原因; 日光温室内金太阳杏果实的横径、纵径与鲜果质量之间存在明显的乘幂回归关系($r=0.98^{**}$, $r=0.99^{**}$); 日光温室内金太阳杏鲜果质量与发育时间之间的关系符合 Logistic 生长曲线($r=-0.99^{**}$)。

[关键词] 日光温室栽培; 金太阳杏; 生长发育

[中图分类号] S662.201

[文献标识码] A

[文章编号] 1671-9387(2007)01-0175-04

Studies on growth and development of apricot fruit

YANG Heng, WEI An-zhi, YANG Tu-xi, ZHANG Rui, SA Wen-qing

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

Abstract: Fruit development of “Gold sun” apricot was observed and analyzed in and out of the greenhouse in Yangling Shenfeng Company in 2004 to 2005. The results showed that: Under greenhouse cultivation conditions, the fruit development period was prolonged for 15 days in the first and the second quick growing periods. Under greenhouse cultivating conditions, growth ratio of the apricot in the first high-speed growing period was significantly smaller than that in open field. The accumulative growth of the apricot in the second high-speed growing period was more significant than that in open field. The lower temperature at night inside the greenhouse should be responsible for the prolonging of first high-speed growing period, the slower growth and the larger fruit size. Of greenhouse culture, vertical diameter, horizontal diameter and fresh weight of the apricot fruit were distinct regression relationships respectively ($r=0.98^{**}$) ($r=0.99^{**}$); Relationship between fresh weight and growth days of the apricot fruit in greenhouse conformed to Logistic curve ($r=-0.99^{**}$).

Key words: greenhouse cultivation; “Gold sun” apricot; growth and development

露地杏树栽培因气象条件难以调控, 往往会遇到环境灾害或目标管理上力不能及的问题。设施栽培虽因覆盖影响了光照, 但可以调节与果树生产相关的温度、湿度、水分、CO₂ 等因素。设施内环境因子的可调节性为实现设施环境因子调控的高度自动化、系统化奠定了基础。设施环境因子调控的理论基础是设施内果树的生长发育规律。随着果树设施栽培

的发展, 传统的经验性专业知识及概念形式的生产管理模式逐渐被专家系统和新型神经元计算机系统(Neuro Computer System, NCS)所替代^[1-2]。

杏树是设施栽培中起步较晚的树种, 目前对设施栽培条件下杏果实发育动态的研究很少。前人曾对露地栽培杏的果实发育规律进行过研究^[3-6], 但设施小环境改变了设施果树的生命周期和发育周期,

^{*} [收稿日期] 2005-12-29

[基金项目] 西北农林科技大学科研专项(05ZR058)

[作者简介] 杨 恒(1968-), 男, 陕西彬县人, 副研究员, 硕士, 主要从事果树设施栽培研究。

[通讯作者] 魏安智(1962-), 男, 陕西扶风人, 教授, 硕士生导师, 主要从事林木育种与果树设施栽培研究。

进而使设施果树的生长发育规律发生了根本变化。设施果树生长中若一个或多个生长发育环节产生障碍或节奏混乱,就会严重制约果树设施栽培的成功率^[7-9]。因此,本试验研究了设施栽培条件下杏果实的发育动态规律,以期为建设设施栽培条件下杏果的优质高效栽培技术体系和挖掘设施栽培的生产潜力奠定基础。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验于 2004~2005 年在国家杨凌农业高新技术产业示范区神峰公司的日光温室及温室外露地杏园中进行。该地海拔 559 m,属温带湿润大陆性季风气候。年平均气温 13 °C,极端最高气温 42 °C,极端最低气温-19.4 °C,4 月上旬可稳定通过 10 °C,10 月下旬结束,≥10 °C 的持续时间约 200 d。年降雨量为 610.2 mm,降雨多集中在 7~9 月份,雨热同季,年主导风向为西北风,年均风速为 2.6 m/s。土壤为垆土,土层深厚,地势平坦,地下水资源丰富。日光温室结构为轻钢桁架无立柱日光温室,即西北 GJ-A 型温室。桁架间距为 1.2 m,跨度 8 m,长度 60 m,温室高度 3.6 m。后坡屋面为轻质复合保温材料。

1.2 试验材料

试验用杏品种均为 4 年生的金太阳杏,用同龄

的凯特杏作为授粉树,采用南北行向、宽窄行栽植,窄行距 1 m,宽行距 2 m,株距均为 1 m,树势健壮,采用常规管理。

1.3 试验方法

试验采用单株小区,4 次重复。从脱萼期起,在温室内及露地各选 4 株金太阳杏作为研究对象,在被选单株树冠中上部的阳面各选 5 个果实,挂牌标记,用游标卡尺每隔 5 d 测定 1 次果实的纵径和横径,直至果实成熟为止,并记录果实纵、横径的变化规律;在测量标记果实果径的同时,在同一果园内的非试验株上随机采 10 个发育正常的果实^[3],用天平测量每个果实的质量。同时从脱萼期起,每天观测当日温室内外的最低和最高气温。

根据 Connors 提出的果实生长模式中的“三时期体系”划分杏果实生长发育时期^[10]。

数据分析采用新复极差测验统计法^[11]。

2 结果与分析

2.1 温室栽培对杏果发育阶段的影响

杏果实在其生长发育过程中,纵径和横径的变化具有相同的趋势^[3,5]。本研究以果实的纵径为参数对杏果实的发育阶段进行研究。不同栽培条件下金太阳杏果实的生长发育曲线见图 1。

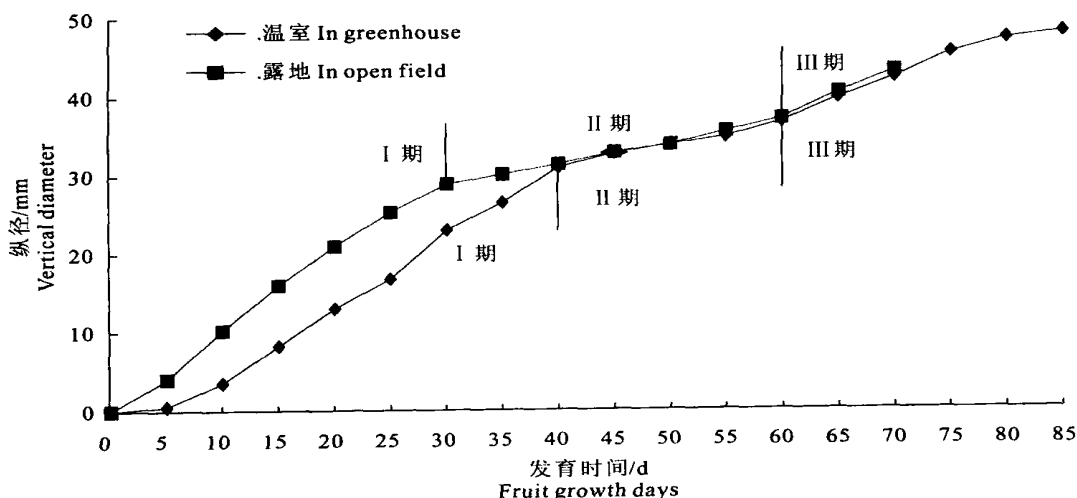


图 1 温室内外杏果实纵径的生长曲线

Fig 1 Vertical diameter growth curve of "gold sun" apricot

由图 1 可以看出,日光温室内金太阳杏的生长可以分为 3 个时期,第 I 阶段历时 40 d,是果实的第一速生期;第 II 阶段历时 20 d,是果实的缓慢生长

期;第 III 阶段历时 25 d,是果实的第二速生期。露地金太阳杏果实生长的第一速生期历时 30 d,果实的缓慢生长期历时 30 d,第二速生期历时 10 d。因此,

与露地相比, 温室内金太阳杏果实的第一速生期延长了 10 d, 缓慢生长期缩短了 10 d, 第二速生期延长了 15 d, 整个生育期延长了 15 d。

2.2 不同栽培条件下杏果发育阶段与气温的关系

环境因子, 尤其是气温能够提前或推迟果实的成熟时间, 从而影响果实生育期的长短^[10]。对杏果实发育过程中温室内外的气温进行测定(表 1)发现, 在果实发育的第 I 阶段, 温室内外的气温明显不

同, 并且温室内具有较低的夜间气温和较大的昼夜温差。由于果实的生长主要发生在夜间, 夜间气温的高低对果实的生长产生明显的影响^[10, 12]。因此, 温室内较低的夜间气温是造成杏果实第 I 阶段发育时间较长和果实生长较慢的原因。在第 II 阶段, 由于温室内昼夜气温均较高, 促使果实生长加速, 该阶段持续时间变短。在第 III 阶段, 由于温室内昼夜气温低于露地, 从而导致该阶段延长。

表 1 不同栽培条件下金太阳杏各个发育阶段的气温比较

Table 1 A comparison of air temperature during different stages of fruit development inside and outside the greenhouse							°C
栽培类型 Type of cultivation	第 I 阶段 Stage I		第 II 阶段 Stage II		第 III 阶段 Stage III		
	最低气温	最高气温	最低气温	最高气温	最低气温	最高气温	
	M in-temperature	M ax-temperature	M in-temperature	M ax-temperature	M in-temperature	M ax-temperature	
日光温室 Greenhouse	7. 5	22. 0	19. 2	29. 0	14. 7	25. 8	
露地 Open field	10. 0	20. 4	16. 3	25. 7	19. 9	32. 7	

2.3 温室栽培对杏果径生长的影响

由表 2 可知, 在不同栽培条件下, 金太阳杏果实的生长发育状况不同。在第 I 阶段, 日光温室内栽培的杏果实纵径日生长量为 0. 78 mm/d, 露地为 0. 97 mm/d; 日光温室内栽培的杏果实横径日生长量为 0. 66 mm/d, 露地为 0. 83 mm/d。经新复极差测验, 该阶段日光温室内栽培的杏果径日生长量显著小于露地, 但二者果径累积生长量无显著差异。在第 II 阶段, 日光温室内栽培的杏果纵径和横径日生长量与露地接近或相同, 但该阶段的杏果纵径、横径累积生长量则显著小于露地。在第 III 阶段, 日光温室内栽培的杏果纵径和横径日生长量与露地无显著差异, 但

该阶段的纵径、横径累积生长量则显著大于露地。
由表 2 还可看出, 在日光温室栽培条件下, 第 I 阶段杏果纵径和横径生长量分别占成熟时的 65% 和 60%, 在露地栽培条件下, 该阶段杏果实纵、横径生长量分别占成熟时的 66. 7% 和 63. 3%, 说明第 I 阶段杏果实的生长对果实大小有重要影响。
果实成熟时, 日光温室内栽培的杏果纵径为 47. 6 mm, 露地栽培的杏果纵径为 43. 5 mm, 前者较后者增大了 9. 4%; 日光温室内栽培的杏果横径为 43. 9 mm, 露地栽培的杏果横径为 39. 5 mm, 前者较后者增大了 11. 7%。由此可见, 日光温室栽培能够提高果实成熟时的大小。

表 2 温室内外金太阳杏果不同果径生长量的变化

Table 2 Fruit developmental periods and growth in diameter of “gold sun” apricot between inside and outside the greenhouse									
栽培类型 Type of cultivation	果实发育 时间/d Days for fruit develop- ment	发育阶段 Develop- mental periods	起止日期 Date of the beginning and the end	持续时间/d Days of grow th lasted	累积生长量/mm A ccum ulative grow th		各期生长量占 成熟时的比例/% Grow th ratio in different period compared w ith full size fruit		日生长量/(mm · d ⁻¹) Fruit grow th in one day
					纵径 V ertical diam eter	横径 H orizontal diam eter	纵径 V ertical diam eter	横径 H orizontal diam eter	
日光温室 Greenhouse	85	I	03-02~04-10	40	31. 1	26. 2	65	60	0. 78 b _I
		II	04-11~04-30	20	5. 8 b _{II}	7. 6 b _{II}	12 b _{II}	17 b _{II}	0. 29
		III	05-01~05-25	25	10. 7 a _{III}	10. 1 a _{III}	23 a _{III}	23 a _{III}	0. 47
露地 Open field	70	I	04-01~04-30	30	29. 0	25. 0	66. 7	63. 3	0. 97 a _I
		II	05-01~05-30	30	9. 0 a _{II}	11. 3 a _{II}	20. 7 a _{II}	28. 6 a _{II}	0. 30
		III	05-31~06-09	10	5. 5 b _{III}	3. 2 b _{III}	12. 6 b _{III}	8. 1 b _{III}	0. 55

注: a_I 和 b_I 表示露地与日光温室栽培的杏果实第 I 阶段的日生长量差异显著(α= 0. 05), a_{II} 和 b_{II}, a_{III} 和 b_{III} 的含义类推。
Note: a_I and b_I: statistical analysis results showed that difference of the apricot fruit grow th in one day in stage I was significant inside and outside the green house (α= 0. 05), a_{II}, b_{II}, a_{III} and b_{III} on the analogy of this

2.4 日光温室内杏果径与鲜果质量的关系

果实在生长发育阶段的质量不能直接测量,而其果径则容易测得,对温室条件下金太阳杏果径与鲜果质量进行回归分析,可间接了解果实的质量变化。

由表 3 可知,金太阳杏果实在温室生长发育过

程中,横径、纵径与鲜果质量之间存在明显的乘幂回归关系,回归方程分别为: $Y = 0.42x^{3.39}$ ($r = 0.98^{**}$), $Y = 0.09z^{4.23}$ ($r = 0.99^{**}$)。式中: Y 为鲜果质量(g), x 为杏果横径(cm), z 为杏果纵径(cm)。

表 3 日光温室内金太阳杏果径与鲜果质量的关系

Table 3 Relation between diameter and fresh weight of the apricot fruit in greenhouse

项目 Item	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
果实横径/cm Horizontal diameter	2.13	2.62	2.85	3.06	3.23	3.38	3.57	3.88	4.19	4.39	4.74
果实纵径/cm Vertical diameter	2.66	3.11	3.29	3.40	3.52	3.69	4.00	4.26	4.58	4.76	4.84
鲜果质量/g Fresh weight	6.30	11.30	12.30	15.23	19.98	28.15	38.27	42.98	53.85	58.00	64.50

2.5 日光温室内杏鲜果质量与发育时间的关系

研究日光温室内金太阳杏鲜果质量与发育时间之间的回归关系,对日光温室杏树栽培的模拟研究以及日光温室杏树管理 NCS 系统的建立具有重要的参考价值。

由图 2 可以看出,日光温室内金太阳杏鲜果质量与发育时间之间的关系符合 Logistic 生长曲线,

其回归方程为: $Y = \frac{174.41}{1 + e^{5.35 - 0.06x}}$ ($r = 0.99^{**}$)。式中: Y 为鲜果质量, x 为发育时期。

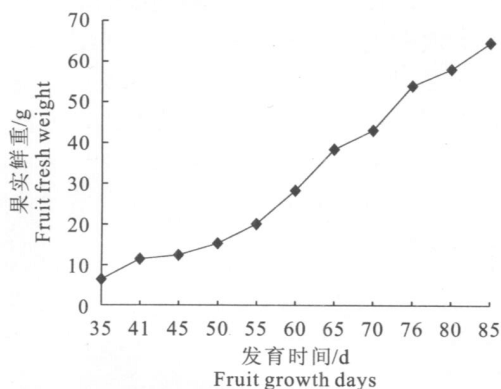


图 2 温室金太阳杏鲜果质量与发育时间的关系

Fig. 2 Relationship between fresh weight and growth days of the apricot fruit in greenhouse

3 结论与讨论

1) 本研究结果表明,与露地栽培相比,日光温室内栽培杏树可使杏果实发育的第 I、第 III 阶段延长,第 II 阶段缩短,整个生育期延长 15 d;日光温室内金太阳杏第一速生期的生长速率显著低于露地,第二速生期的累积生长量显著高于露地。较低的夜间气温是造成温室内杏果实第 I 阶段较长和生长较慢的主要原因。这一结论与王志强等^[13]和朱清华^[14]在设施油桃上的研究结果基本一致,反映了核果类果树

设施栽培的生物学共性,对其管理具有指导意义。

2) 果实生长是由构成果实的细胞进行分裂、增大和分化,从而使果实体积和质量不断增加的结果。就果实体积增长而言,主要取决于细胞的数量、大小及细胞间隙的大小。同一品种果树果实的大小则主要取决于细胞的数量^[10]。杏果实细胞分裂主要发生在果实发育的早期阶段,果实生长在中、后期主要依靠的是细胞增大。相对较低的气温,不仅能延长细胞分裂的时间,而且也能诱导更多细胞分裂素类物质的合成来促进细胞分裂^[10]。本研究结果表明,日光温室内金太阳杏在第 I 生长阶段的气温明显低于同阶段露地气温,这有利于细胞分裂,因此有助于提高杏果实的大小和质量^[10, 12]。如果在杏果实发育的第 I 阶段提供相对较低的夜间气温来促进细胞分裂,在第 II 阶段利用较高的气温来缩短果实发育期,这样可以实现早熟和大果的设施栽培目标。

3) 本研究结果表明,日光温室内金太阳杏鲜果质量与发育时间之间的关系符合 Logistic 生长曲线。Logistic 生长曲线是比利时数学家 Verhulst (1893 年) 首先在数学上推导出的,直到 20 世纪 20 年代才为生物学家及统计学家 R. Pearl 和 L. J. Reed 重新发现。中川昌一^[11]介绍了苹果、梨、核果类以及葡萄、中华猕猴桃的果实生长发育分别成单 S、双 S 及三 S 型生长曲线,但没有导出各果树生长发育曲线方程中的 a 、 b 、 c 参数,而是以实际资料的散点图判定其为“S”型曲线,当然对曲线方程也无法进行测验。近年来,匡晓东等^[15]通过对柚子果实生长发育的研究认为,安农无核蜜香柚的果实生长发育也符合 Logistic 生长曲线。随着科学技术的发展和各门学科间的相互渗透,应用数学在农业领域的应用将会越来越广泛。

(下转第 183 页)

3 讨 论

本文的测序结果及其与烟草、水稻、番茄 DHAR 基因 cDNA 同源性比较结果表明, 克隆到的 840 bp 碱基序列确为苹果 DHAR 基因 cDNA 片段, 包含了完整的 3' 末端, 为进一步克隆苹果 DHAR 基因 cDNA 全长基因奠定了基础, 也为深入研究 DHAR 及其他抗坏血酸代谢相关因子在植物抵抗逆境胁迫中的作用和机理提供了参考。

DHAR 被认为可能是一个基因家族, 目前已知的主要有 DHAR1、DHAR2 两种, 通过比较烟草、水稻、番茄等植物 DHAR 基因的同源性可以看出, 同一物种中 DHAR1 与 DHAR2 基因的差别主要存在于其 5' 端核苷酸序列, 而不同物种间同一 DHAR 基因的差别主要存在于其 3' 端核苷酸序列。这些差别的产生可能与物种进化程度相对应, 也可能与不同物种在各自生长环境中长期抗争、适应逆境胁迫有关, 值得进一步深入探讨和研究。

[参考文献]

- [1] Smirnoff N. The function and metabolism of ascorbic acid in plants[J]. *Ann*, 1996, 78: 661-669

- [2] Noctor G, Foyer C H. Ascorbate and glutathione: keeping active oxygen under control[J]. *Annu Rev Plant Physiol Plant Mol Biol*, 1998, 49: 249-279
- [3] Wheeler G L, Jones M A, Smirnoff N. The biosynthetic pathway of vitamin C in higher plants[J]. *Nature*, 1998, 393: 365-369
- [4] Boussiba S, Rikin A, Richmond A E. The role of abscisic acid in cross-adaptation of tobacco plants[J]. *Plant Physiol*, 1975, 56: 337-339
- [5] 陈坤明, 宫海军, 王锁民. 植物抗坏血酸的生物合成、转运及其生物学功能[J]. *西北植物学报*, 2004, 24(2): 329-336
- [6] De Gara L, Tommasi F. Ascorbate redox enzymes: a network of reaction involved in plant development[J]. *Recent Dev Phytochem*, 1999, 3: 1-15
- [7] Foyer C H, Halliwell B. Presence of glutathione and glutathione reductase in chloroplasts: a proposed role in ascorbic acid metabolism[J]. *Planta*, 1976, 167: 521-526
- [8] Shalata A, Mitova V, Volokita M, et al. Response of the cultivated tomato and its wild salt-tolerant relative *Lycopersicon pennellii* to salt-dependent oxidative stress: the root antioxidant system[J]. *Physiol Plant*, 2001, 112: 487-494
- [9] 王娟, 李德全. 水分胁迫对玉米根系 ASA-GSH 循环及 H₂O₂ 含量的影响[J]. *中国生态农业学报*, 2002, 10(2): 94-96
- [10] 梁东, 马锋旺, 张军科, 等. 苹果 S6PDH 基因 cDNA 克隆及其植物表达载体构建[J]. *农业生物技术学报*, 2006, 14(4): 635-636

(上接第 178 页)

[参考文献]

- [1] 高东升, 李宪利, 耿莉. 国外果树设施栽培的现状[J]. *世界农业*, 1997(1): 3
- [2] 王中英, 王艺, 吕晓燕. 果树的设施栽培[J]. *世界农业*, 1997(6): 28-31
- [3] 于希志, 徐秋萍, 金锡凤. 杏果实发育的研究[J]. *果树科学*, 1990, 7(4): 227-300
- [4] 王丰亭, 孟宪刚. 杏果实发育规律的研究初报[J]. *烟台果树*, 1983(3): 17-19
- [5] 王荣花, 李嘉瑞, 陈理论. 杏果实发育的形态解剖学研究[J]. *西北农业大学学报*, 2000, 28(4): 45-50
- [6] 王荣花, 李嘉瑞, 张娟, 等. 杏果实生长发育生理学研究[J]. *西北农业学报*, 2000, 9(3): 76-78
- [7] 贾克功. 我国果树设施栽培的现状与前景[J]. *北京农业*,

2002(9): 22-23

- [8] 于国合. 关于果树设施栽培的几点思考[J]. *烟台果树*, 1997(3): 8-9
- [9] 王金政. 山东果树保护地栽培发展现状存在问题及对策[J]. *落叶果树*, 1998(1): 32-35
- [10] 吴邦良, 夏春森, 赵宗方, 等. 果树开花结实生理和调控技术[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1995: 324-326
- [11] 华中农业大学. 果树研究方法[M]. 北京: 农业出版社, 1986
- [12] 束怀瑞. 果树栽培生理学[M]. 北京: 农业出版社, 1993
- [13] 王志强, 牛良, 刘淑娥. 设施栽培对油桃营养生长及果实生长发育的影响[J]. *果树科学*, 2002, 19(2): 98-103
- [14] 朱清华. 设施油桃生长发育规律及氮素营养特性研究[D]. 山东泰安: 山东农业大学, 2003: 24-25
- [15] 匡晓东, 杨文学, 王聪田. 安农无核蜜香柚果实生长发育的数学模型研究[J]. *浙江柑橘*, 2000(3): 18-20