

薛晓敏,韩雪平,王来平,等. 负载量水平对矮化中间砧苹果生长发育、光合作用及产量品质的影响[J]. 江苏农业科学,2019,47(21):202-206.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2019.21.048

负载量水平对矮化中间砧苹果生长发育、光合作用及产量品质的影响

薛晓敏¹, 韩雪平¹, 王来平¹, 丛培建², 聂佩显¹, 王金政¹

(1. 山东省果树研究所, 山东泰安 271000; 2. 山东省荣成市农业农村事务服务中心, 山东荣成 264300)

摘要:以7年生矮化中间砧红富士苹果为材料,研究不同负载量水平对叶片形态和生理指标、光合作用、冠层结构、果实品质及产量等的影响。结果表明,负载量对叶片影响较大,随着负载量升高,叶面积逐步减小,叶绿素含量逐步增大;高负载量时,增加了胞间二氧化碳浓度和羧化效率,从而提高了叶片净光合速率;同时也增大了叶面积指数,减小了叶倾角,使植株受光面积变大,冠层截获的辐射能升高,但直接辐射透过率和散射辐射透过率变小,严重影响了树冠下层光截获能力;随着负载量增大,落果严重,果实品质变差,小果比例升高。综合分析认为,矮化中间苹果以中等负载量水平,即留果4个/cm²,折合为6000 kg/hm²,为较适宜的负载量。

关键词:负载量;苹果;生长发育;品质;产量;光合作用

中图分类号: S661.101 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2019)21-0202-05

矮化密植栽培模式是世界苹果栽培发展的主流方向,具有省力、节本、简单易操作和适于机械化管理等优势,是我国现代果业发展的重要趋势和必然要求^[1-3]。而苹果矮砧密植栽培在我国并非首创,早在20世纪80年代全国曾掀起过苹果矮砧栽培的热潮,有学者统计,1987年全国矮砧苹果栽培面积1.02万hm²,此后迅速发展,到1992年全国矮砧苹果面积达到8万hm²,接近全国苹果总面积的5%,但受当时条件限制,砧木、品种、树形、栽培技术等方面诸多不配套,致使矮砧苹果发展处于停滞状态^[4-5]。其中,矮砧苹果树不高、树势早衰、树干倾斜在多数矮砧果园都有表现,而造成这种现象的一个重要原因就是花果管理不当,幼树期和初盛果期负载过大^[6]。因此,研究矮砧苹果的适宜负载量对于现代苹果矮化

密植栽培模式的稳定发展具有重要意义,关系到当年及以后树体发育、产量、品质及效益。曾有学者对于负载量指标进行过探讨,如利用干周法、干截面法、叶果比法、间距法^[7-10]等,但其应用对象多是在栽培中占主导地位的乔砧苹果,指标是否同样适宜于矮化中间砧苹果,还须进一步验证。为此,本试验在前期研究的基础上^[6,11-14],继续开展不同负载量水平对叶片、光合、冠层、产量及品质的影响,旨在确定盛果期矮化中间砧矮砧适宜负载量水平,为苹果生产提供参考依据。

1 材料与方法

试验于2016年在山东省果树研究所天平湖基地进行。试验品种为天红2号/SH38/海棠。

1.1 试验园概况

果园总面积2.67hm²,试验园采用现代矮砧密植集约栽培模式,2010年春季利用2年生矮化中间砧大苗建园,宽行密植,南北行向,行间生草,钢管铁丝支架栽培,高纺锤树形,株行距4.0m×1.0m,果园土质为沙壤土,肥力中等,灌溉条件良好,管理水平中等偏上,树势健壮,生长整齐。

1.2 试验设计

选取生长势一致、大小相近的植株作为试验树,单株小区,3~5次重复。试验设3个负载量水平:低负载量T1,

红枣品质的影响[J]. 西北农业学报,2012,21(1):127-129.

[24]王进. 平衡施肥对设施葡萄生长及结果影响研究[D]. 雅安:四川农业大学,2013.

[25]王涛,何文寿,姜海刚,等. 氮磷钾不同用量对马铃薯产量和淀粉含量的影响[J]. 中国土壤与肥料,2016(3):80-86.

[26]钟德卫,邓燕,康祝科,等. 不同N、P、K施肥量对玉米生育性状和产量的影响[J]. 安徽农业科学,2015,43(5):88-90.

[27]戚士胜,胡凤桂,李应生,等. 寿县水稻“3414”完全肥料效应田间试验[J]. 安徽农业科学,2016,44(16):131-133.

收稿日期:2018-07-23

基金项目:山东省重点研发计划(编号:2017CXGC0210);国家重点研发计划(编号:2017YFD0701402-1);农村领域国家科技支撑计划(编号:2014BAD16B02-2);苹果产业技术体系建设专项(编号:CARS-27)。

作者简介:薛晓敏(1979—),女,河北邯郸人,副研究员,主要从事水果遗传育种与栽培研究。E-mail: xuexiaomin79@126.com。

通信作者:王金政,研究员,主要从事水果遗传育种与设施栽培研究。Tel: (0538)8298263; E-mail: wjz992001@163.com。

[21] Ruhl E H. Effect of potassium and nitrogen supply on the distribution of minerals and the composition of grape juice of Sultana vines[J]. Australian Journal of Experimental Agriculture, 1989, 29(1):133-137.

[22] Calvert D V. Response of 'Marsh' grapefruit trees in the Indian River area to potassium application yield and fruit quality[J]. Proceeding of the Florida State Horticultural Society, 1974, 86:13-19.

[23]刘璇,王渭玲,徐福利,等. 氮、磷、钾对黄土丘陵区山地滴灌

2.0 果/cm², 中负载量 T2, 4.0 果/cm², 高负载量 T3, 6.0 果/cm²。在试验树嫁接口上方 30 cm 高处量取周长, 计算主干截面积,

$$\text{主干截面积} = \text{周长}^2 / 4\pi。$$

由单位主干截面积留果量计算不同负载量水平全树总留果量, 加留 5% 保险系数为最终留果量。在 5 月中旬进行疏果处理, 先统计每株试验树的总果数, 再从总果数中减去要疏掉的果数, 疏果时尽量使果实在树体上分布均匀, 定果后试验树按常规管理, 挂牌标记, 之后定期测定各项指标。

1.3 测定方法

1.3.1 叶片生理指标测定 选树冠外围生长正常的发育枝、无果短枝、有果短枝中部叶片, 各采 100 张叶片, 用叶绿素仪测定叶绿素含量, 用叶面积仪测量叶面积, 用游标卡尺测百叶厚度。

1.3.2 产量调查 果实成熟后单株采果, 计数, 称质量, 果实分级。

1.3.3 品质调查 每处理每株树随机选 50 个果实进行果实品质测定, 包括果形指数、着色指数、光洁度指数、果实色泽、硬度、可溶性固形物含量、可溶性总糖含量和可滴定酸含量等指标。果实纵横径用游标卡尺测量, 可溶性固形物含量用 TD-45 数显糖量计测定, 果实去皮硬度用 GY-1 型果实硬度计测量, 果实色泽用日本产 CI-410 色差计测定。

果面着色指数 = $\Sigma(\text{各级果数} \times \text{代表级值}) / (\text{总果数} \times \text{最高级值}) \times 100\%$;

光洁度指数 = $\Sigma(\text{各级果数} \times \text{代表级值}) / (\text{总果数} \times \text{最高级值}) \times 100\%$ 。

分级标准见表 1。

表 1 果实着色和光洁度分级标准

等级	果面着色指数(%)	果面光洁度指数(%)
0 级	0 ~ 5	0 ~ 10
1 级	> 5 ~ 25	> 10 ~ 30
2 级	> 25 ~ 50	> 30 ~ 60
3 级	> 50 ~ 75	> 60 ~ 85
4 级	> 75 ~ 100	> 85 ~ 100

1.3.4 光合测定 用英国 PP-Systems 公司生产的 CIRA S-II 型光合仪测定净光合速率(P_n)、胞间 CO₂ 浓度(C_i)、气孔导度(G_s)、蒸腾速率(E_{vap}), 并计算羧化效率(CE)和水分利用效率(WUE), $CE = P_n / C_i$, $WUE = P_n / E_{\text{vap}}$ 。每处理取试验树不同方向、不同类型的新梢中部健壮无病虫害叶片各 10 张, 分别测定后取平均值。

1.3.5 冠层测定 仪器为美国 CID 公司生产 CI-110 植物冠层结构分析仪, 将鱼眼探头放在冠层下面获取植物冠层黑白鱼眼图像, 用仪器自带软件分析试验树叶面积指数、叶片平均倾斜角度、散射辐射透过率、直接辐射透过率、消光系数和叶片的方位分布等冠层结构参数。

2 结果与分析

2.1 负载量对叶片形态及生理指标的影响

由表 2 可以看出, 负载量对不同类型枝上叶片的叶面积有明显影响, 无论是发育枝、有果中短枝还是无果中短枝, 其枝条中部叶片叶面积均随负载量升高而减小, 说明高负载量

影响了叶片大小的发育。负载量对叶片厚度的影响在不同枝类上表现不同, 发育枝和无果中短枝上中部叶片的厚度为高负载量最高, 有果中短枝上中部叶片的厚度则为低负载量最高, 相关研究结果还须进一步验证。负载量对叶绿素含量的影响规律明显, 表现为无论哪种类型枝条上的叶片都随负载量增大, 叶绿素含量升高, 说明高负载量虽然影响了叶片大小的发育, 但提高了叶片的叶绿素含量。

表 2 负载量对不同类型叶片形态及生理指标影响

叶片类型	处理	叶面积 (cm ²)	叶片厚度 (μm)	叶绿素含量 (SPAD 值)
发育枝	T1	29.40	452.00	50.19
	T2	27.55	441.67	50.27
	T3	27.12	454.00	50.89
有果中短枝	T1	26.75	430.00	52.90
	T2	25.75	420.67	42.47
	T3	25.36	422.41	55.01
无果中短枝	T1	27.22	369.67	50.31
	T2	24.90	431.00	51.84
	T3	23.82	479.64	51.92

2.2 负载量对叶片光合作用的影响

2.2.1 对净光合速率(P_n)的影响 由图 1 可见, 3 种类型新梢中部叶片净光合速率均随负载量升高而升高, 尤其是发育枝叶片, 高负载量净光合速率达 20.23 μmol/(m²·s), 较低负载量提高了 5.88 μmol/(m²·s), 涨幅 40.98%; 中短枝叶片高负载量净光合速率较低负载量也提高了 3~4 μmol/(m²·s), 说明高“库”提高了“源”——叶的光合效率。

2.2.2 对胞间 CO₂ (C_i) 浓度的影响 由图 1 可见, 无论是发育枝还是中短枝, 都是高负载量的胞间二氧化碳浓度最大, 其中发育枝和无果中短枝叶片 C_i 随负载量的增大而上升, 有果中短枝叶片 C_i 则随负载量升高呈先降后升趋势; 无果中短枝高负载量叶片 C_i 值最高, 达到 286.56 μmol/mol, 无果中短枝低负载量叶片 C_i 值最低, 仅为 255.56 μmol/mol; 说明“库”的拉力提高了二氧化碳进入叶片的能力, 为叶片光合作用的提升提供了前提条件。

2.2.3 对气孔导度(G_s)的影响 由图 1 可见, 负载量对气孔导度的影响规律性不明显, 发育枝叶片中负载量水平 G_s 值最高, 有果中短枝叶片低负载量水平 G_s 值最高, 无果中短枝叶片则高负载量水平 G_s 值最高。

2.2.4 对蒸腾速率(E_{vap})的影响 负载量对蒸腾速率的影响趋势如图 1 所示, 有果中短枝叶片高负载量水平的蒸腾速率最高, 为 6.36 mmol/(m²·s), 略高于同类枝条的低负载量水平[6.05 mmol/(m²·s)]。

2.2.5 对水分利用效率(WUE)的影响 由图 1 可见, 不同负载量处理对苹果 WUE 有一定的影响, 对于发育枝和无果中短枝叶片, 高负载量叶片水分利用效率最高; 对于有果中短枝叶片, 则是中等负载量水平的水分利用效率最高, 高负载量明显降低了果树的水分利用效率。

2.2.6 对羧化效率(CE)的影响 羧化效率说明植株叶片光合对 CO₂ 的利用情况, 数值越高, 说明 CO₂ 的利用率越高。由图 1 可见, 3 种枝类叶片都是高负载量越大, 羧化效率越高, 其中发育枝和有果中短枝叶片 CE 随负载量的增大而上

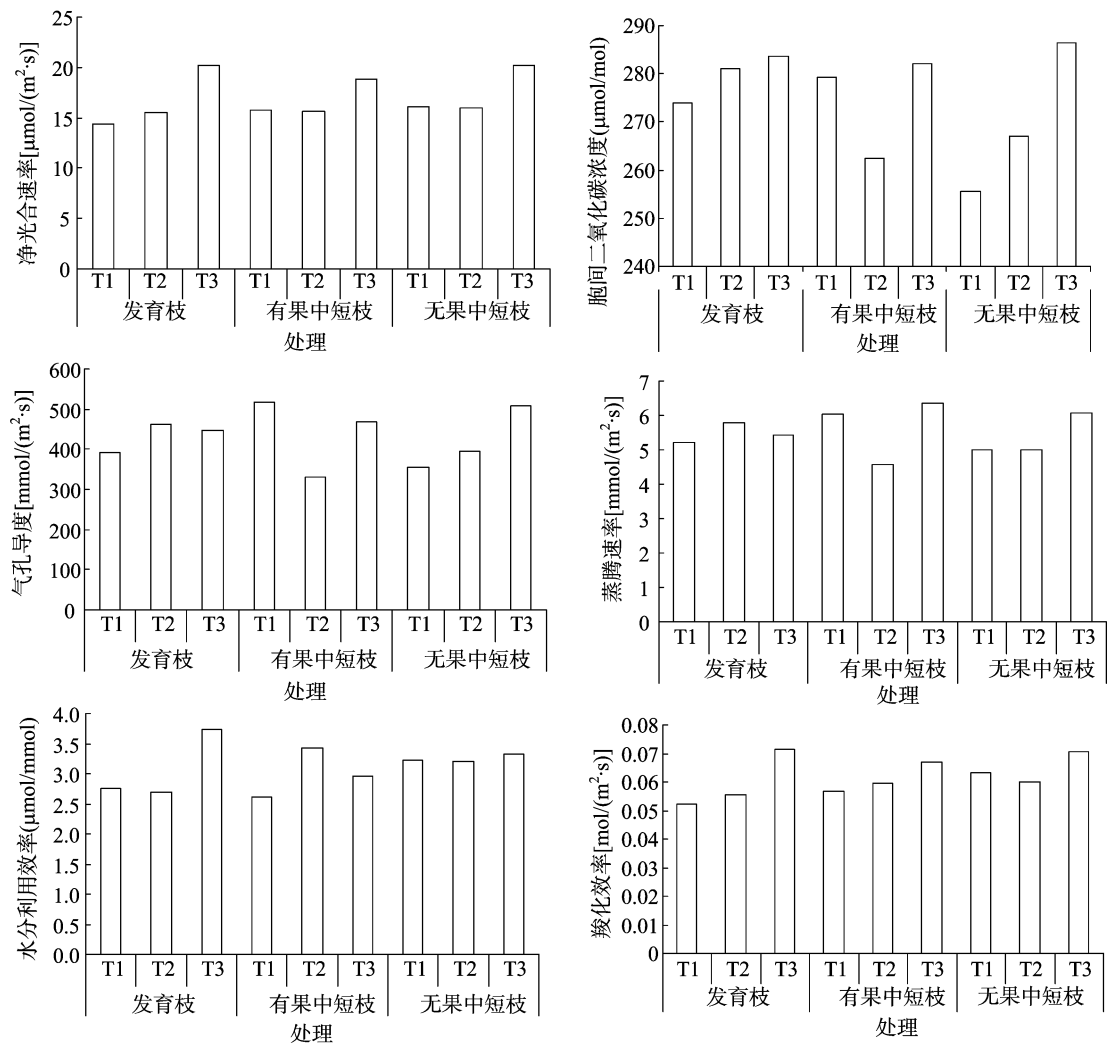


图1 负载量对叶片光合指标的影响

升,无果中短枝叶片 CE 则随负载量升高呈先降后升趋势;CE 最高值和最低值都出现在发育枝叶片上,低负载量时 CE 为 $0.052 \text{ mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$,高负载量时 CE 为 $0.071 \text{ mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$;对比发现,CE 与 P_n 和 C_i 具有一定相关性,都是负载量越高,其值越大,说明高“库”的存在,提高了二氧化碳进入叶片的能力,使胞间二氧化碳浓度升高,二氧化碳利用率也同时增大,因此提高了叶片光合作用的能力。

2.3 负载量对冠层结构的影响

2.3.1 对叶面积指数(LAI)的影响 叶面积指数是描述植物冠层的一个重要指标,它影响冠层对光能的吸收利用和植物干物质的积累等。从表 3 可以看出,随着负载量升高,LAI 值也随之升高,说明 T3 冠层的叶面积指数最大,冠层截获的太阳辐射能力也最大,植株进行光合作用可以合成的光能产物最多,与光合指标测定的结果一致。

2.3.2 对叶片平均倾斜角度(MFIA)的影响 叶片平均倾斜角度指叶轴和水平面之间的夹角,影响着植物冠层截获太阳辐射能的多少,MFIA 值越大,叶片越紧凑,植株冠层的受光面积越小。由表 3 可以看出,低负载量时叶片倾斜角度最大,为 22.75° ,中等负载量和高负载量叶片 MFIA 值较小,仅 9.55° 。说明低负载量时叶倾角影响了受光面积,造成冠层截

获的辐射能量少,影响了植株光合作用;而高负载量时 MFIA 小,植株受光面积大,冠层能截获的辐射能量就高,有利于叶片捕获光能来制造营养。

2.3.3 对散射辐射透过率(TD)的影响 散射辐射透过率表示植株冠层所能截获的天空散射辐射能。由表 3 可见,低负载量时 TD 值最大,说明低负载量时植株冠层能截获的天空散射辐射能量最高;而高负载量时可能由于树冠密集,所能截获的天空散射辐射能较低。

表 3 负载量对冠层结构的影响

处理	叶面积指数 (LAI)	叶片平均倾斜角度 (MFIA, $^\circ$)	散射辐射透过率 (TD)
T1	1.54	22.75	0.25
T2	1.92	9.55	0.19
T3	2.32	9.55	0.20

2.3.4 对直接辐射透过率(TR)的影响 直接辐射透过率表示植株冠层所能截获的天空不同方向的直射辐射能,TR 值越大,树冠透光性越好,中下部叶片光能利用率越大。由表 4 可以看出,在 $7.5^\circ \sim 37.5^\circ$ 天顶角范围内,随着负载量的增大,直接辐射透过率减少;而在 $52.5^\circ \sim 67.5^\circ$ 范围内,则表现出

相反的趋势。从整个天顶角方向来分析,负载量越大,TR 越小,说明高的负载量影响了树冠的透光性,尤其影响了树冠底层光能利用率。

2.3.5 对消光系数(K)的影响 消光系数是描述群体光分布的重要参数,反映了光在冠层的垂直递减状况和冠层对太

阳直接辐射的削弱能力,K 值越小,越有利于光向冠层深处透射,净同化率越高。由表 4 可见,在整个天顶角范围内,T1 的 K 值较低,而 T2 和 T3 的 K 值较高,说明高负载量影响了光在冠层的垂直下射,削弱了太阳的直接辐射,从而不利于光能积累。

表 4 负载量对冠层结构的影响

处理	不同天顶角下的 直接辐射透率(TR)					不同天顶角下的 消光系数(K)					不同天顶角下的 叶片的方位分布(LD)			
	7.5°	22.5°	37.5°	52.5°	67.5°	7.5°	22.5°	37.5°	52.5°	67.5°	0°	90°	180°	270°
T1	0.28	0.28	0.31	0.22	0.23	0.86	0.87	0.88	0.93	1.05	0.80	0.67	0.78	0.74
T2	0.06	0.14	0.22	0.21	0.26	0.97	0.97	0.97	0.98	1.00	0.83	0.80	0.89	0.61
T3	0.04	0.10	0.22	0.29	0.25	0.97	0.97	0.97	0.98	1.00	0.69	0.90	0.80	0.69

2.4 负载量对果实品质的影响

由表 5 可以看出,负载量对果实外观品质的影响较大,随着负载量增大,单果质量、果形指数、果面红色色泽等外观品质指标总体呈现下降趋势,但低负载量时着色指数和光洁度指数最低,应该与低负载量时叶面积较大、枝条长势较旺有关。需要指出的是此处单果质量为抽样品质测定的结果,与

整株树称质量记数得出的单果质量数值上不一致。

负载量对果实内在品质的影响也较大,高负载量时,果实内在品质较差。果肉硬度表现为中等负载量最大,高负载量最小,低负载量硬度中等;可溶性固形物含量随负载量升高而逐步降低,阳面和阴面降幅分别达 7.60% 和 9.37% (表 5)。

表 5 不同负载量处理对果实品质的影响

处理	单果质量 (g)	果形指数	着色指数 (%)	光洁度指数 (%)	果面色泽			果实硬度(kg/cm ²)		可溶性固形物含量(%)	
					L	a	b	阳面	阴面	阳面	阴面
T1	207.81	0.87	71.00	78.00	53.72	30.47	18.27	7.71	7.54	14.87	14.41
T2	207.21	0.83	73.00	84.33	52.77	29.78	17.25	8.18	7.66	14.01	13.53
T3	184.93	0.83	74.33	83.67	54.52	26.64	17.73	7.31	6.80	13.74	13.06

2.5 负载量对果实分级的影响

从图 2 可以看出,低负载量处理大果比例高,T1 以横径 75 mm、横径 70 mm 果实比例之和较大,占近 70%,而横径 60 mm 果实比例不足 2%,没有横径 60 mm 以下小果;T2 的横径 75 mm、横径 70 mm 果实比例之和为 62%,横径 60 mm

果实比例 6.72%,横径 60 mm 以下小果也在 1% 以上;T3 则以横径 70 mm 果为主,横径 60 mm 果占 8.37%,横径 60 mm 以下小果接近 1.5%。说明果实负载量越高,小果比例越高,商品果率越低。

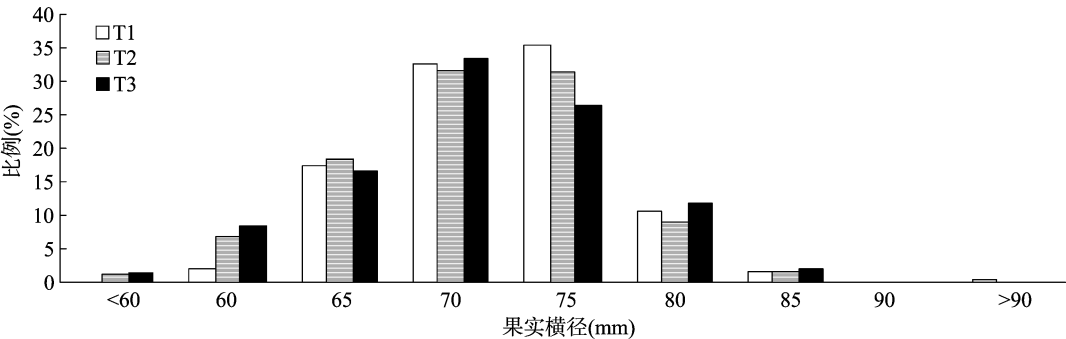


图2 不同负载量处理对果实分级的影响

2.6 负载量对实际产量的影响

从表 6 可以看出,试验最初留果数与实际采果数存在差异,且随负载量加大,差值变大,该现象说明高负载量水平会造成落果严重,平均单株落果超过 60 个;实际产量与预期产量的趋势一致,呈现持续上升态势,但高负载量时,由于小果比例高且实际采果数远低于预留果数,造成实际产量远低于预期产量。

表 6 不同负载量对实际产量的影响

处理	产量			果数(个)		
	折合单果质量(kg)	单株产量(kg)	折合产量(kg/hm ²)	预留	实际采集	差值
T1	185.87	14.21	35 382.9	82	76	-6
T2	169.06	23.52	58 564.8	162	140	-22
T3	165.68	27.34	68 076.6	218	155	-63

3 讨论与结论

3.1 负载量对叶片的影响

叶片作为苹果最主要的“库”器官,其生长发育受负载量影响较大。有研究表明,苹果在较高负载量水平时,叶绿素含量下降,叶片的脱ABA含量升高,从而加速了叶片衰老^[15-16]。然而,本研究结果表明,随着负载量升高,无论是有果中短枝、无果中短枝还是发育枝,其叶片叶绿素含量整体呈逐步增大趋势,其原因是品种差异还是采样误差仍须进一步验证。

3.2 负载量对光合作用的影响

有不少学者研究表明,当负载量升高,即库强增大时,会促进源叶光合作用^[17-19]。冉辛拓等对长富1的研究表明,随着负载量增加,叶片光合速率持续上升,光合速率与留果量呈极显著正相关^[20]。本试验结果显示,随着负载量升高,增加了胞间二氧化碳浓度和羧化效率,从而提高了叶片净光合速率,与以上学者的研究结果一致。但袁成龙等对盛果期红富士的研究表明,随负载量的增加,叶片的 P_n 、CE和WUE呈逐渐下降趋势,其原因分析为高负载量时抑制枝梢生长,根系和叶片均得不到足够营养,从而净光合速率下降^[12]。其分歧有待进一步研究。

3.3 负载量对树体冠层结构的影响

前人研究负载量与冠层结构关系结果显示,叶面积指数随着负载量升高而升高,差异显著^[21-22]。本试验结果也表明,随着负载量升高,LAI上升,MFIA下降,说明高负载量增大了叶面积指数,减小了叶倾角,从而使植株受光面积变大,冠层截获的辐射能升高;但同时TD和TR呈下降趋势,影响了直接辐射透过率、散射辐射透过率,造成树冠透光性差,严重影响了树冠下层光截获能力。

3.4 负载量对产量和品质的影响

众多研究表明,负载量增大严重影响了果实品质^[23-25]。本试验结果显示,随着负载量增大,小果比例升高,果实品质变差;且负载量越大,落果越严重,实际采果数低于预期处理,加之单果质量减小,导致高负载量处理实际产量与预期产量相差甚远。

综合分析认为,虽然高负载量时由于“库”-“源”间拉力增大,使叶片指标、光合生理及冠层结构的部分参数优化,如叶绿素含量升高、叶面积指数变大、叶倾角变小、胞间二氧化碳浓度升高、羧化效率变大等,最终使叶片净光合速率升高;但高负载量时果实品质严重变差,尤其是单果质量和可溶性固形物含量。因此,中等负载量水平即留果4个/cm²,折合产量约60 000 kg/hm²,为盛果期天红2号矮化中间砧苹果较适宜的负载量。

参考文献:

- [1] 束怀瑞. 中国式苹果矮密栽培的发展建议[J]. 落叶果树,2015,47(3):1.
- [2] 宋哲,王宏,里程辉,等. 我国苹果产业存在的主要问题、发展趋势及解决办法[J]. 江苏农业科学,2016,44(9):4-8.
- [3] 韩明玉. 苹果矮砧集约栽培技术模式刍议[J]. 中国果树,2015(3):76-79.

- [4] 王田利,张学斌. 我国苹果矮化密植栽培发展现状[J]. 北方果树,2016(2):48-49.
- [5] 马宝焜,徐继忠,孙建设. 关于我国苹果矮砧密植栽培的思考[J]. 果树学报,2010,27(1):105-109.
- [6] 薛晓敏,王金政,李仕凯,等. 结果初期矮化中间砧苹果适宜负载量研究[J]. 山东农业科学,2013,45(11):54-56,59.
- [7] 汪景彦. 确定苹果适宜负载量的新方法——干周法[J]. 中国农学通报,1987(6):45-46.
- [8] 王有年,肖春玲. 苹果主干与负载量的相关性探讨[J]. 果树科学,1986(3):27-29.
- [9] 宋雪霞,张颖,吴秋霞,等. 苹果负载量的确定及疏花疏果技术[J]. 农业科技与信息,2015(17):100,104.
- [10] Suo G D, Xie Y S, Zhang Y, et al. Crop load management (CLM) for sustainable apple production in China[J]. Scientia Horticulturae,2016,211:213-219.
- [11] 薛晓敏,陈鸿飞,王金政,等. 盛果期红富士苹果适宜负载量的研究[J]. 江西农业学报,2012,24(9):31-34.
- [12] 袁成龙,李培环,段艳欣,等. 不同负载量对盛果期‘红富士’苹果树光合指标和贮存营养的影响[J]. 中国农学通报,2012,28(22):163-167.
- [13] 路超,王金政,康冰心,等. 盛果期红富士苹果树适宜负载量研究[J]. 山东农业科学,2009(10):35-38,42.
- [14] 薛晓敏,王金政,聂佩显,等. 结果初期矮化中间砧苹果适宜负载量研究[J]. 北方农业学报,2017,45(4):100-104.
- [15] 程瑞平,束怀瑞,顾曼如. 负载量对金冠苹果叶水势和脱落酸含量季节变化的影响[J]. 河北科技师范学院学报,1990,4(4):24-29.
- [16] 刘悦萍,郭金丽,张玉兰,等. 负载量与金红苹果树生长结果、叶片衰老的关系[J]. 内蒙古农业大学学报(自然科学版),2003,24(1):39-45.
- [17] Palmer J W. Effects of varying crop load on photosynthesis, dry matter production and partitioning of Crispin/M.27 apple trees[J]. Tree Physiology,1992,11(1):19-33.
- [18] Palmer J W, Giuliani R, Adams H M. Effect of crop load on fruiting and leaf photosynthesis of ‘Braeburn’/M.26 apple trees[J]. Tree Physiol,1997,17(11):741-746.
- [19] Glenn D M. Dry matter partitioning and photosynthetic response to biennial bearing and freeze damage in ‘Empire’ apple[J]. Scientia Horticulturae,2016(210):1-5.
- [20] 冉辛拓,张新生. 不同负载量对苹果光合速率及干物质生产的影响[J]. 华北农学报,2003,18(增刊1):131-132.
- [21] 张秀美,王宏,张广仁. 不同负载量对苹果“丽嘎啦/MM106”冠层光合能力及品质的影响[J]. 江苏农业科学,2015,43(10):218-220.
- [22] Buler Z, Mika A. The influence of canopy architecture on light interception and distribution in Sampson Apple trees[J]. Journal of Fruit and Ornamental Plant Research,2009,17(2):45-52.
- [23] Yuri J A, Talice J G, Verdugo J, et al. Responses of fruit growth, quality, and productivity to crop load in apple cv. Ultra Red Gala/MM111[J]. Scientia Horticulturae,2010(3):305-312.
- [24] Samuoliene G, Viskeliene A, Sirtautas R A. Relationships between apple tree rootstock, crop-load, plant nutritional status and yield[J]. Scientia Horticulturae,2016,211:167-173.
- [25] 李卓阳,董晓颖,王志鹏,等. 不同负载量处理对红富士苹果产量和品质的影响[J]. 中国农学通报,2011,27(2):210-214.