

果园生态系统生产力调控

张 义, 谢永生*, 郝明德, 鞠 艳, 摄晓燕

(西北农林科技大学资源环境学院, 中国科学院水利部水土保持研究所, 陕西杨凌 712100)

摘要:以黄土沟壑区果园生态系统为研究对象, 针对黄土高原果业生产波动性大, 生态系统恶化等问题, 通过调控果树的生殖生长量, 研究了果园生态系统生产力调控及系统响应。结果表明: 生产力水平高的处理对土壤深层的水分利用增强, 但降低了土壤深层贮水量, 从而进一步加重土壤干燥化程度; 以生殖生长调控为手段的生产力调控能够显著改善果实的单果重、果实硬度、着色指数等外在品质, 果品优果率可提高 12.9% ~ 23.5%; 通过生产力调控, 果业生产经济效益显著提高, 果园生态系统健康状况得到维持, 果树生产波动性缓解。确定挂果 2.25×10^5 个/hm² 的生产力水平为黄土沟壑区盛果期果园生态系统的适宜生产力水平。

关键词: 果园; 生态系统; 生产力; 土壤水分; 品质; 经济效益

文章编号: 1000-0933(2009)12-6811-07 中图分类号: S152, S154 文献标识码: A

Effect of controlling productivity on an apple orchard ecosystem

ZHANG Yi, XIE Yong-Sheng*, HAO Ming-De, JU Yan, SHE Xiao-Yan

The Resources and Environment College of Northwest A & F University, The Institute of Soil and Water Conservation, CAS & MWR, Yangling, Shaanxi 712100, China

Acta Ecologica Sinica, 2009, 29(12): 6811 ~ 6817.

Abstract: Apples are one of the main agricultural crops on China's Loess Plateau. Producers want to maximum productivity; however extremely high levels of production can influence the orchard ecosystem and affect apple tree growth, yield quality and stability, and economic return. This is one of the most important problems in the orchard ecosystem. This field study compared the effect of five levels of productivity on soil moisture, apple quality, apple yield, and economic return from orchards in the Loess Plateau. Productivity in treatment (I) (CK) was 3.6×10^5 ind·hm⁻². Productivity in the other four treatments was limited to the following levels: treatment (II) = 3.15×10^5 ind·hm⁻², treatment (III) = 2.7×10^5 ind·hm⁻², treatment (IV) = 2.25×10^5 ind·hm⁻², and treatment (V) = 1.8×10^5 ind·hm⁻². The results showed that the deep soil layer water use efficiency increased as productivity increased. However, deep soil layer water storage capacity decreased and desiccation of deep soil layers increased as productivity increased. The use of control methods to reduce productivity resulted in improvements in individual apple weight, firmness, and color. Based on external quality, the percentage of excellent fruit was 13% ~ 24% higher in treatments with adjusted productivity levels compared to the unadjusted control treatment. In conclusion, these results indicated that controlling productivity increased sustainability, apple quality, economic return, and ecological benefit and reduced fluctuations in production. The optimum production level for mature orchards in the Gully Region of the Loess Plateau was 2.25×10^5 ind·hm⁻².

Key Words: orchard; ecosystem; productivity; soil moisture; quality; economic benefit

基金项目: 中国科学院知识创新工程重大资助项目(KSCX-YW-09-07); 国家科技支撑计划资助项目(2006BAD09B10); 中国科学院农业资助项目(KSCX1-YW-N-15-04); 国家科技支撑计划资助项目(2006BAD15B01-03)

收稿日期: 2009-03-20; 修订日期: 2009-04-29

致谢: William J. Gale 博士润色英文摘要, 特此致谢。

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: ysxie@ms.iswc.ac.cn.

黄土高原沟壑区是全国唯一符合苹果生长七项气候指标要求的优生区^[1],苹果产量和种植面积均居全国第一位。然而由于当地生态环境脆弱、管理工作粗放,果农单纯追求产量,造成该区域果业生产大小年明显,果树抗性下降,病虫害加剧等问题,果园生态系统的健康与持续发展受到影响。目前的研究多注重树冠与树体构型,而对果园生态系统生产力研究较少,为此,需对果树的生产力进行调控,以达到优质、高产、高效、可持续发展的目的。

果树生产力的调控方法可以划分为生殖生长调控和营养生长调控两种手段。本研究采用生殖生长调控的方法进行生产力调控。生殖生长调控是提高坐果率,解决果树合理负载和果实布局的花果管理技术;能调节生长和结果的关系,防止和克服大小年,提高果品质量,保证树体健康^[2,3];是实现优质、稳产、高产的关键措施之一^[4]。

本研究通过调控果树的生殖生长量,研究不同生产力水平对果园生态系统,果实品质及经济效益的影响,以确定果树的适度生产力,通过调控生产力来改善果园的生态环境,提高果农的经济效益,为实现果农经济效益与果园生态环境的和谐可持续发展提供依据。

1 材料与方法

1.1 试验区自然概况

试验区所在的陕西省长武县,位于黄土高原南部的典型高塬沟壑区。平均海拔 1200m,属暖温带半湿润大陆性季风气候区。年均气温 9.1℃,无霜期 171d,多年平均降水量 584mm,≥10℃活动积温 3029℃,年日照时数为 2230h,日照率 51%,年辐射总量为 4837kJ·cm⁻²。土壤为中壤质黑垆土,降水的人渗深度最大达 3m^[5],田间持水量(θ_m)为 21%。

1.2 试验材料

试验果园面积 1266.7m²,建园时间为 1996 年,主栽品种为长枝红富士,株行距 2m×3m,东西走向,无灌溉条件。果树已进入盛果期,生长健壮,树势中庸,管理一般。果树生长管理状况在该区域具有典型性。

1.3 试验设计与方法

本试验于 2007 年冬季开始,采用调控生殖生长的方法进行生产力调控,利用人工定值产量法(即以单位面积产量确定留果量的方法)为生殖调控的依据,设置 5 个定果量水平,分别为 3.6×10⁵ ind·hm⁻²(Ⅰ)、3.15×10⁵ ind·hm⁻²(Ⅱ)、2.7×10⁵ ind·hm⁻²(Ⅲ)、2.25×10⁵ ind·hm⁻²(Ⅳ)和 1.8×10⁵ ind·hm⁻²(Ⅴ),其中Ⅰ为不进行生产力调控条件下的生产力水平,设为对照,其它分别为不同水平的处理,即处理Ⅱ、处理Ⅲ、处理Ⅳ和处理Ⅴ。完全随机排列,各试验小区施肥量一致,树体管理统一按一般方法进行,平均每棵果树修剪枝条量为 7kg,全部进行套袋生产。

土壤水分测定:土壤样品采集于树冠边缘距树干 2/3 处,采样深度为 400cm,放射状取样,土钻取土,经典烘干法^[6]测值。分层采样,每 20cm 采样 1 次,每处理小区 3 个重复,取平均值。

果实样品采集于树体的同一方向的同一位置,用 GY-1 型果实硬度计测量果实去皮硬度,用 WYT-4 型手持糖量计测定果实可溶性固形物含量,用蒽酮比色法测定可溶性糖含量。在果实采摘后,测定不同水平的果实实际产量及优果率等,每个果实样品的测定项目重复 3 次。

叶片于果实收获后(2008 年 11 月 4 日)在树体的同一方向同一位置采集,每个处理随机取 5 棵树共 100 片样叶,称重,3 次重复。

1.4 数据处理

土壤贮水量计算公式 $D_w = \theta_m \cdot \rho \cdot h$ ^[7],式中, D_w 为土壤贮水量(mm), θ_m 为土壤容积含水量, ρ 为土壤容重, h 为土壤厚度(mm)。

使用 Microsoft Office Excel 2007 软件进行数据处理及作图;

使用 DPS v3.01 专业版软件进行单因素方差分析(ANOVA)及 Duncan 法多重比较。

2 结果与分析

2.1 生产力调控措施对果园土壤水分的影响

适度生产力(appropriate productivity)是指在生态系统保持健康,并能够获得最佳经济效益的前提下,单位时间单位面积生产最佳有机物质的能力。其实质是在生态系统尺度上的综合生产力。

生态系统的生产力主要取决于气候因子(光、热、水)、地形因子、土壤因子(土壤水分、土壤温度、土壤养分)、生物因子、人类活动因子及其之间的相互协调能力^[8]。在黄土高原沟壑区,天然降水是当地土壤水分的唯一补充来源,而该区降水稀少,能补充到土壤中的水分更少,根据李比希的最小定理,土壤水分是该区域生态系统生产力的限制性因子。

在一定时期内,土壤水分收支出现负平衡,导致土壤贮水量下降,土壤出现干燥化趋势,形成土壤低湿层^[9~11]。黄土区降水少蒸发力大,加之种植果树后,耗水量增加,而土壤水分又得不到补充,土壤干燥化被进一步激发和强化,且果树的生产力越大,强化作用越大,低湿层厚度增大,干燥化程度加剧。所以,土壤深层干燥化问题,本质上是一个生产力和生态环境相互失衡的问题。

本试验所在的黄土高原沟壑区当土壤含水量低于15%(毛管水断裂量)时^[12],果树生长将受到水分胁迫,不利于优质果品生产,设定果园土壤此时进入低湿层。根据果实采摘后(2008年11月3日)测定的果园土壤水分状况看出(图1),果树生产力调控到 $1.8\times10^5\text{ ind}\cdot\text{hm}^{-2}$ 、 $2.25\times10^5\text{ ind}\cdot\text{hm}^{-2}$ 、 $2.7\times10^5\text{ ind}\cdot\text{hm}^{-2}$ 、 $3.15\times10^5\text{ ind}\cdot\text{hm}^{-2}$ 和 $3.6\times10^5\text{ ind}\cdot\text{hm}^{-2}$ 时,土壤低湿层的上界分别出现在140、140、140、130cm和110cm处。可见,随着果树生产力的增大,土壤低湿层上边界位置提升。

果树不同生产力水平土壤水分的降低速率类似,对于不同土层贮水具有类似的利用能力(图1)。处理Ⅲ、处理Ⅳ和处理Ⅴ3个处理水平,土壤水分先增加后减小;而处理Ⅱ和对照两个处理水平,土壤水分呈单一减少的趋势。3m以下土层,土壤含水量明显的随生产力的增大而降低,由此可以看出,若长久维持较高的生产力,将不利于生态系统的可持续维护以及果树的健康生长。这是由于苹果是多年生植物,树体高大,根系分布广深,生产力大的果树,为满足果实生长需求,需要吸收更多的土壤水分,导致下层土壤水分上提,湿度减小,干燥化程度加剧。当土壤深层水分低于12%时,将会影响到果实的优质生产,进而影响到经济效益。

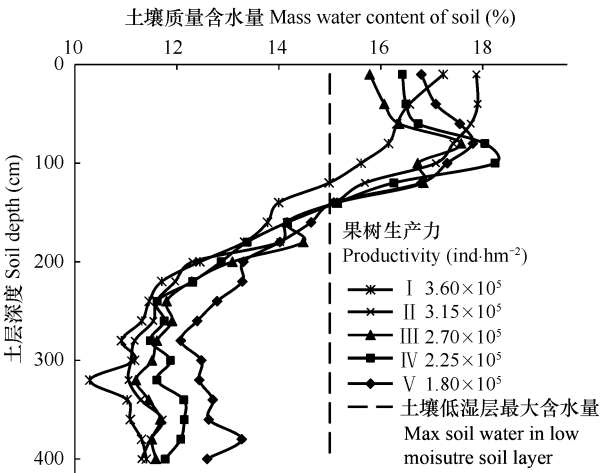


图1 生产力调控水平对土壤含水量的影响
Fig. 1 The influence of controlling the productive level on soil moisture

表1 不同生产力水平土壤贮水量的变化
Table 1 The changes of the water storage capacity at different productive levels

土层深度 Depth(cm)	贮水量 Water storage capacity(mm)				
	I	II	III	IV	V
0~100	214.49	230.66	216.19	225.40	226.70
100~200	179.59	186.73	193.13	188.20	193.44
200~300	148.21	150.36	154.92	154.41	163.06
300~400	144.43	148.98	150.46	156.53	166.74
0~400	686.72	716.73	714.70	724.55	749.94

果树生产力 Productivity(ind·hm⁻²) I :3.6×10⁵; II :3.15×10⁵; III :2.7×10⁵; IV :2.25×10⁵; V :1.8×10⁵

比较4m土体内贮水量的变化(表1)看出,调控果树的生产力能够明显改善土壤水分状况,4m范围内土

壤贮水量最大能够提高 13.57% ;土层每米的贮水量都低于黄土区平均贮水能力的 250mm,土壤墒情较差,土壤贮水的供水调节能力急剧降低,使果树生长逐渐转向依靠当年降水提供水源^[13]。处理 V 和处理 IV 两个处理水平在 2~3m 范围内土壤贮水量为各土层最低,处理 II、处理 III 和对照 3 个处理水平,3~4m 范围内土壤贮水量为各土层最低,但 2~3m 范围内土壤贮水量与另两个处理水平同层次土壤贮水量相比也略偏少。这与它们的生长状况有关,处理 II 和对照 (I) 两个处理水平,果树生产量大,所以蒸腾量和需水量也较大,造成下层土壤贮水量减少,干燥化程度加剧。

2.2 生产力调控对果实品质的影响

苹果优质、高产是生产者的目标。果实品质是由果实大小、可溶性固形物含量、可溶性糖、硬度和着色指数等多项因子组成。由不同生产力水平果实品质差异 (表 2) 可以看出,随果树定果量的减少,不同定果量水平百叶鲜重、单果重、果实硬度、着色指数、优果率呈上升趋势。

表 2 不同生产力水平果实品质及产量差异

Table 2 The difference in fruit quality and yield based on different productivity

处理 Treatment	定果量 Level (ind·hm ⁻²)	可溶性固 形物含量 Soluble solid (%)	百叶鲜重 Leaf fresh weight (g)	单果重 Individual weight (g)	可溶性糖 Soluble sugar (%)	硬度 Firmness (kg·cm ⁻²)	着色指数 Index of color (%)	优果率 Excellent fruit (%)	实际产量 Yield (t·hm ⁻²)
I	3.6 × 10 ⁵	11.07a	43.38d	144.23cC	10.02a	7.61d	84.30d	76.11c	51.92a
II	3.15 × 10 ⁵	11.93a	57.73c	112.57dD	10.86a	7.75cd	87.60cd	86.93b	35.46b
III	2.7 × 10 ⁵	12.57a	84.18b	160.53bB	11.50a	7.81c	90.20bc	91.78a	43.34b
IV	2.25 × 10 ⁵	12.67a	88.81b	208.82aA	11.72a	8.25b	93.50ab	93.38a	46.99a
V	1.8 × 10 ⁵	11.90a	97.60a	208.33aA	11.14a	8.53a	95.60a	94.00a	37.50b

不同小写字母表示差异达 5% 显著水平;不同大写字母表示差异达 1% 显著水平 Different lowercase letters mean the difference is significant at the 5% level ; Different capital letters mean the difference is significant at the 1% level

果实可溶性固形物含量是表征果实主要营养物质的一项指标。通过表 2 得出,各处理水平之间可溶性固形物含量有一定变化,最大变幅为 14.45%,但没有达到显著水平 ($P > 0.05$)。

叶片是果树制造光合产物的主要器官,果树叶片的大小、重量和色泽等能通过光合作用,影响果树的生长,因此百叶鲜重也是评价果树生长状况的品质指标之一。同时,当木本植物受到土壤干旱影响时,常常通过降低叶片含水率、落叶等调节自身的蒸腾量来适应干旱土壤和气候条件,所以百叶鲜重也是评价果树生长环境的生态指标之一。百叶鲜重可说明叶面积、叶片厚度等叶片质量状况,较高的百叶鲜重水平表明有利于叶片制造光合产物。果实采收后,由于暂无生殖生长的营养竞争,果树进入营养物质贮备期,同化产物主要向根输送^[14]增加了养分向根的回流累积,可以促进翌年花芽分化,缓解隔年结果现象的产生^[12,15,16]。不同定果量水平,果树百叶鲜重随定果量的减少呈上升趋势 (表 2),上升幅度为 24.86%~55.55%。方差分析与多重比较表明,各处理与对照的百叶鲜重差异显著 ($P < 0.05$)。由此可以预测,进行生产力调控,可有效缓解果树大小年现象,维持果树稳定生产。

单果重是评价果实品质的主要指标之一。除处理 II 外,单果重随定果量的下降呈显著上升趋势 (表 2),与对照相比,单果重增加 11.23%~44.78%。

可溶性糖含量各调控水平间的差异不显著 (表 2)。果实硬度和着色指数具有相同的变化趋势,即随定果量的下降而增加。果实硬度处理 III、处理 IV、处理 V 与对照相比差异显著 ($P < 0.05$);果实着色指数处理 IV 和处理 V、处理 III 和处理 IV、处理 II 和处理 III、对照和处理 II 之间两两差异不显著 ($P > 0.05$)。

优果率是反映果品商业价值和确定果农经济收入的重要因素之一。通过优果率指标考察,优果率随果树定果量的减少而上升 (表 2)。各生产力水平与对照相比,优果率提高了 13.16%~23.68%。通过方差分析与多重比较得出,处理 III、处理 IV、处理 V 与处理 II、对照之间的差异显著 ($P < 0.05$)。

果树定果量的改变,对果实总产量没有定向性变化趋势影响 (表 2)。这主要是因为当果树定果量大时,

果实单果重下降,导致总产量没有显著增加;当果树定果量减小时,果实单果重增加,从而导致总产量也没有显著减小。而果实单果重是影响果实优果率的主要因素之一。果实优果率的提高会进一步提高果业生产的经济效益。方差分析与多重比较表明,对照、处理Ⅳ与处理Ⅱ、处理Ⅲ、处理Ⅴ之间差异显著($P < 0.05$)。

2.3 生产力调控技术经济效益分析

调控果树生产力,是为了实现生态效益与经济效益的协调发展,达到可持续发展的目的。因此,在保障当地生态环境安全的前提下,实现经济效益的最优化,是进行生产力调控的目的之一。而果业的经济效益是由生产成本、果实产量、品质等因素共同决定的^[17,18]。

表3是不同生产力调控水平,果树生产的收支情况。进行果树生产力调控,影响了果树的产量,但果业纯收入不仅仅由产量决定,还与果实品质有更为密切的关系,因为不同品质的果实,售价相差近10倍。随着果树定果量的减少,能够较大幅度地降低果树生产过程中产生的劳动资料费用和人工劳务费(表3),从而显著降低生产成本;并能够显著提高果实的优果率以及经济收益。

表3 生产力调控的经济效益分析
Table 3 Economic benefit analysis of the productivity adjustment

处理 Treatment	成本分析 Cost analysis				
	总产量 Yield (t)	袋钱 Bag cost (Yuan·hm ⁻²)	套袋人工费 Labor cost (Yuan·hm ⁻²)	调控技术费 Cost on adjustment (Yuan·hm ⁻²)	生产资料费 M. P. Fee (Yuan·hm ⁻²)
I	51.92	16560	10800	0	27360
II	35.46	14490	9450	450	24390
III	43.34	12420	8100	900	21420
IV	46.99	10350	6750	1350	18450
V	37.50	8280	5400	1800	15480

处理 Treatment	效益分析 Profit analysis				
	优果率(%) Excellent fruit	销售额 Sales volume (Yuan·hm ⁻²)	纯收入 Net income (Yuan·hm ⁻²)	单位增收率 Increasing rate of a hestare (%)	投入产出比 Input-output ratio
I	76.11	113879	86519	0	1:3
II	85.93	86616	62226	-28.08	1:2.5
III	90.78	111215	89795	3.79	1:4
IV	93.38	123659	105209	21.60	1:6
V	94.00	99285	83805	-3.14	1:5

1. 果实售价按2008年市场价计算:优果价2.80元·kg⁻¹,次果价0.26元·kg⁻¹; 2. 纯收入=销售额-生产资料费;3. 增收量为纯收入与I(3.6×10⁵ ind·hm⁻²)作对照的结果,正值表示增加,负值表示减少;4. 投入:产出=生产资料费:纯收入 1. The fruit price calculated according to market in 2008; Excellent fruit 2.80 Yuan·kg⁻¹, Secondary fruit 0.26 Yuan·kg⁻¹; 2. Net income = Sales volume-Means of production fee(M. P. Fee); 3. Increasing rate was the net income compared with the I (3.6×10⁵ ind·hm⁻²); Positive means increased, negative means decreased; 4. Input-Output Ratio = Means of Production Fee:Net income

选取不进行生产力调控的3.6×10⁵个/hm²(I)为参照标准,处理Ⅱ比对照(I)每公顷平均减少经济纯收入24293元(表3),减少28.08%,减少量最大;处理Ⅳ比对照每公顷平均增加经济纯收入18690元,增加21.60%,增加量最大。虽然对照优果率最低,但由于总产量较大,纯收入并不是最低,可是由前文所知,对照的生产力对生态系统及果实品质的负面影响最大;处理Ⅴ的优果率最高,但由于总产量最小,因此,纯收入亦非最高。投入产出比为投入的各项生产资料费用与纯收入之比,处理Ⅳ的投入产出比最优为1:6,处理Ⅱ的投入产出比最差为1:2.5(表3)。

通过回归分析可以得到黄土沟壑区果园生态系统生产力调控实际产量与纯收入的回归方程: $y = -317.48x^2 + 29099x - 567212$; $R^2 = 0.8437^{**}$

通过各生产力水平果实实际产量与纯收入的回归曲线(图2)看出,处理Ⅳ的纯收入最高。结合各生产力

水平的投入产出比,得出处理Ⅳ的经济效益最佳。

3 讨论

土壤水分是影响黄土高原沟壑区果树生长的限制性生态因子。若果树生长用水供需失衡,将影响果实品质,降低经济效益,使果园生态系统失衡。当土壤水分在田间持水量至毛管水断裂量之间时,由于土壤粗毛管孔隙中的水分连通,移动迅速,可及时向植物根系输水。当土壤含水量介于毛管水断裂量和田间持水量的45%之间时,粗毛管中的水分已不连续,移动速度减缓且不能自动地向根系输水,呈“根就水”状态,只有当根与之接触时才能被吸收利用,此时将会对优质果品的生产产生不利影响。土壤水分从田间持水量的45%至萎蔫系数时,土壤水分基本上为膜状水,移动缓慢,作物更难吸收利用,所以作物经常发生暂时萎蔫^[7]。苹果属于经济作物的一种,苹果生产的目的并不是获得最大产量,而是取得最佳经济效益。果实品质是果实价格的决定性因素,因此为保证果树生产出优果率较高的果实,本研究将毛管水断裂量定为土壤低湿层的上界。经研究表明土壤低湿层范围随定果量的增加而扩大。定果量大的调控水平对土壤下层的水分利用增强,但降低了土壤下层的贮水量,从而进一步加重土壤干燥化程度,影响果实品质,降低经济效益,使生态系统恶化。

根据对果实品质的分析看出,进行生产力调控对果实可溶性固形物含量和可溶性糖含量等果实内在品质影响不显著,但能够显著影响果实单果重、硬度、着色指数等外在品质,从而提高果实的优果率。这可能是由于以生殖生长为手段的生产力调控仅能改善果实的外在品质,果实内在品质的提高需要综合运用生殖生长和营养生长相结合的调控手段,并对生态系统的环境因子加以调控。果实采收后不同处理间百叶鲜重差异显著,说明进行生产力调控既能起到节流作用,又能起到开源作用,增加了果树碳素营养的贮备,有利于翌年花芽分化,稳定果树生产,避免或减轻果树大小年现象^[12,14]。

4 结语

传统农业生产单纯追求高产,违背了报酬递减与边际效益的生态学经济规律,在技术密集型高产思想指导下,往往忽视效益,围绕作物高产无节制地追加物化技术,这种不顾成本、不分主次的技术密集累加,带来了经济成本和生态成本的上扬,同时,对于果树来讲,若只管当年高产,不问生产持续性和稳定性以及果实品质状况,则会影响果园生态系统综合效益的提高。现代农业科学技术要求利用最合理的自然资源配置,以最低的能耗获得最大的经济效益。任何作物所需要的水、肥、光、热等物质能量和技术因素与产量的关系都是非线性关系^[19],数量超出一定阈值,往往不仅不能增产,甚至还会引起环境恶化与资源消耗的生态问题。为此,本研究课题人员提出适度生产力的概念,通过调控果树生产力水平,达到最佳的经济效益,实现果园生态系统的可持续维护,果树生产能力的可持续发展。通过本研究得出, 2.25×10^5 个/hm² 生产力调控水平的投入产出比最优,经济效益最佳。综合对生态系统的影响, 2.25×10^5 个/hm² 为黄土沟壑区盛果期果园的适度生产力水平。

References:

- [1] Bai Z L, Mu Y M, Zhao Z Y. Consideration on development of apple industry in Shaanxi Province. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 2003, 21(4): 172–175.
- [2] Dennis F G Jr. The history of fruit thinning. In: *Plant Growth Regulation*. Netherlands: Kluwer Academic Publishers, 2000. 1–16.
- [3] Abed J, James A. Flore application of ammonium thiosulfate for blossom thinning in apples. *Scientia Horticulturae*, 2005, 104(2): 161–168.
- [4] Xu H Y. Thinning flower and fruit in apple. *The Journal of Hebei Forestry Science and Technology*, 2007, (5): 87.

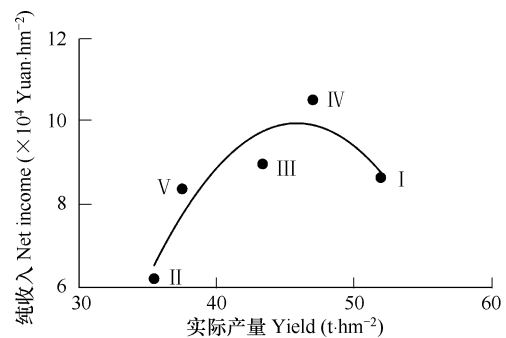


图2 各生产力调控水平果实产量与纯收入回归曲线

Fig.2 The regression relationship between yield and net income on productive levels

I. 3.6×10^5 ind·hm⁻²; II. 3.15×10^5 ind·hm⁻²; III. 2.7×10^5 ind·hm⁻²; IV. 2.25×10^5 ind·hm⁻²; V. 1.8×10^5 ind·hm⁻²

- [5] Hao M D. Study of agricultural ecological and economic system on the gully region of loess plateau. In: Hao M D, Liang Y L, eds. The technology of Changwu agricultural ecological and economic system. Beijing: Weather Press, 1998. 3 — 14.
- [6] Bao S D. The analysis of soil agrochemical, 3rd. Beijing: China Agricultural Press, 2000. 23 — 24.
- [7] Huang C Y. Soil science. Beijing: China agricultural press, 2002. 99 — 102.
- [8] Liu Y, Wu C, Gao Z W. The valuation of ecological capital based on the land cover/use pattern of Fuxian catchment in Yunnan Province. *Acta Ecologica Sinica*, 2007, 27(12): 5283 — 5290.
- [9] Li Y S. The properties of water cycle in soil and their effect on water cycle for land in the loess region. *Acta Ecologica Sinica*, 1983, 3(2): 91 — 101.
- [10] Guo Z S, Shao M A. Soil water carrying capacity of vegetation and soil desiccation in artificial forestry and grassland in semi-arid regions of the Loess Plateau. *Acta Ecologica Sinica*, 2003, 23(8): 0461 — 7461.
- [11] Li Y S. Effects of forest on water circle on the Loess Plateau. *Journal of Natural Resources*, 2001, 16(5): 437 — 432.
- [12] Shu H R, ed. Physiology of fruit cultivation. Beijing: Agriculture Press, 1993. 56, 114, 160
- [13] Zhang C X, Hao M D, Wei X R, *et al.* Soil water distribution characteristics of alfalfa with different planting years in the gully region of loess plateau. *Plant Nutrition and Fertilizing Science*, 2004, 20(6): 604 — 607.
- [14] Lu Q N, Jia D X, eds. China fruiter (Apple volume). Beijing: Chinese Agricultural Science and Technology Publishing House, Chinese Forestry Press, 1999. 116.
- [15] Wang X F, Li X L, eds. The theory of horticulture(North). Beijing: China Agricultural Press, 2003. 21.
- [16] Li G C, ed. General Theory of Horticulture. Beijing: China Agricultural University Press, 2000. 93.
- [17] Marcelis L F M, Gijzen H. Evaluation under commercial conditions of a model of prediction of the yield and quality of cucumber fruits. *Scientia Horticulturae*, 1998, 76: 171 — 181.
- [18] Iglesias I, Echeverría G, Soria Y, *et al.* Differences in fruit colour development, anthocyanin content, fruit quality and consumer acceptability of eight 'Gala' apple strains. *Scientia Horticulturae*, 2008, 119(1): 32 — 40.
- [19] Yu Z W, ed. The theory of Crop Cultivation(North). Beijing: China Agricultural Press, 2003. 17.

参考文献:

- [1] 白志礼, 穆养民, 赵政阳. 陕西苹果产业发展的新思考与新探索. *干旱地区农业研究*, 2003, 21(4): 172 ~ 175.
- [4] 许海云. 苹果的疏花疏果. *河北林业科技*, 2007, (5): 87.
- [5] 郝明德. 黄土高原沟壑区农业生态经济系统研究. 见: 郝明德, 梁银丽主编. 长武农业生态系统结构、功能及调控原理与技术. 北京: 气象出版社, 1998. 3 ~ 14.
- [6] 鲍士旦. 土壤农化分析, 第三版. 北京: 中国农业出版社, 2000. 23 ~ 24.
- [7] 黄昌勇. 土壤学. 北京: 中国农业出版社, 2002. 99 ~ 102.
- [8] 刘阳, 吴钢, 高正文. 基于土地覆盖/利用模式的云南省抚仙湖流域生态资产评估. *生态学报*, 2007, 27(12): 5283 ~ 5290.
- [9] 李玉山. 黄土区土壤水分循环特征及其对陆地水分循环的影响. *生态学报*, 1983, 3(2): 91 ~ 101.
- [10] 郭忠升, 邵明安. 半干旱区人工林草地土壤旱化与土壤水分植被承载力. *生态学报*, 2003, 23(8): 0461 ~ 7461.
- [11] 李玉山. 黄土高原森林植被对陆地水循环影响的研究. *自然资源学报*, 2001, 16(5): 437 ~ 432.
- [12] 束怀瑞主编. 果树栽培生理学. 北京: 农业出版社, 1993. 56, 114, 160.
- [13] 张春霞, 郝明德, 魏孝荣, 等. 黄土高原沟壑区苜蓿地土壤水分剖面特征研究. *植物营养与肥料学报*, 2004, 10(6): 604 ~ 607.
- [14] 陆秋农, 贾定贤主编. 中国果树志(苹果卷). 北京: 中国农业科技出版社, 中国林业出版社, 1999. 116.
- [15] 王秀峰, 李宪利主编. 园艺学各论(北方本). 北京: 中国农业出版社, 2003. 21.
- [16] 李光晨主编. 园艺通论. 北京: 中国农业大学出版社, 2000. 93.
- [19] 于振文主编. 作物栽培学各论(北方本). 北京: 中国农业出版社, 2003. 17.