

氮磷钾配比对南疆红富士苹果产量和品质的影响

孙霞, 柴仲平, 蒋平安*

(新疆农业大学草业与环境科学学院, 新疆 乌鲁木齐 830052)

摘要: 以15 a生乔砧富士苹果树为试材, 采用三因子五水平二次回归正交组合设计, 研究了不同氮磷钾比对苹果产量品质的影响。结果表明, 不同肥料对苹果产量影响的顺序为钾>氮>磷, 且都是正效应。氮与磷、磷与钾呈正交互作用, 氮与钾为负交互作用。以苹果产量 $4\ 325.18\ \text{kg}/667\text{m}^2$ 为目标, 氮、磷、钾肥的最佳施用量分别为 $27.06\ \text{kg}/667\text{m}^2$ 、 $17.80\ \text{kg}/667\text{m}^2$ 、 $2.06\ \text{kg}/667\text{m}^2$ 。高氮对增加果品重量有效果, 但对改善果形无益, 且不利于果实内含物的积累。适当增施磷、钾肥有利于改善果实的着色; 氮素过高或过低都不利于提高果实硬度; 氮和钾对促进苹果糖分的积累更为显著。减少磷、氮素供应可在一定程度上降低果实酸度。高钾处理比中、低钾处理的Vc含量更高。

关键词: 苹果; 产量; 氮磷钾配比; 品质

中图分类号: S661.1; S606+.2

文献标识码: A

文章编号: 1000-7601(2011)06-0130-05

富士苹果 (*Malus domestica* Borkh. cv Fuji) 是我国主要栽培品种之一, 2008年我国苹果栽培面积已达 $192.78\ \text{万}\ \text{hm}^2$, 产量达 $2\ 550\ \text{万}\ \text{t}$, 面积与产量均居世界首位^[1]。N、P、K元素是肥料三要素, 对作物正常的生长发育不可缺少。红富士苹果是新疆阿克苏地区的特色树种。目前在苹果施肥中存在极大的盲目性, 表现在施肥量、肥料元素配比等多方面不合理。对于苹果园的施肥已有大量文献进行了报道, 但多集中在单一的氮磷钾肥研究, 对它们之间的相互作用及合理的施肥比例对苹果树的作用研究较少。氮、磷、钾配合使用, 不仅能增加产量, 提高肥料利用率, 而且减少土壤残留^[2,3], 但目前我国苹果园施肥仍然以氮、磷肥为主, 少施钾肥或不施钾肥的农户比例较大。关于氮磷钾配施对作物产量和品质的影响针对保护地作物和粮食作物有研究报道^[4~8], 针对新疆果树少有报道。

新疆具有得天独厚的果品生产自然条件, 近些年来林果产业发展迅速, 南疆环塔里木盆地已建成 $106.67\ \text{万}\ \text{hm}^2$ 的特色林果区, 该地区的红富士苹果、核桃都极具特色。然而, 由于缺乏合理的施肥指标, 果树营养失调, 致使该区红富士苹果的初果期晚, 产量低而不稳, 果树生产潜力未能充分发挥。本研究以新疆阿克苏地区红富士苹果为材料, 研究了不同氮磷钾比对苹果产量及品质的影响, 为改善提高果树养分利用效率提供参考。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

试验于2009~2010年在新疆生产建设兵团农一师九团二营十三连 ($40^{\circ}34'00''\text{N}$, $81^{\circ}17'15''\text{E}$) 进行, 海拔 $1\ 012.62\ \text{m}$, 地处亚欧大陆腹地的塔里木河畔, 属典型的大陆性极端干旱荒漠气候类型, 年平均降水量 $42.4\ \text{mm}$ 左右, 年蒸发量 $2\ 110.5\ \text{mm}$, 年均总辐射 $9\ 733\ \text{MJ}/\text{m}^2$, 年日照 $2\ 855\sim 2\ 967\ \text{h}$, 年均气温 10.7°C , $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 活动积温约为 $4\ 113.1^{\circ}\text{C}$, 极端最低气温 -28.4°C , 无霜期 $205\sim 219\ \text{d}$ 。试验田土壤为壤质粘土, 有机质含量 $11.91\ \text{g}/\text{kg}$, 速效氮 $22.6\ \text{mg}/\text{kg}$, 速效磷 $17.78\ \text{mg}/\text{kg}$, 速效钾 $104\ \text{mg}/\text{kg}$, pH 为 8.2。

1.2 试验材料

供试树种为红富士, 海棠砧木 (*Chaenomeles sinensis*)。树体生长健壮, 树龄 15 年, 株行距 $4\ \text{m}\times 6\ \text{m}$ 。

1.3 试验设计

灌水总量 ($350\ \text{m}^3/667\text{m}^2$) 为固定值, 以滴灌施 N、 P_2O_5 、 K_2O 为决策变量。采用三因子五水平正交组合设计, $m=3$ 的场合下, 共设 15 个处理, 每处理 9 株树, 三次重复, 小区面积 $240\ \text{m}^2$ 。氮肥选用尿素 (N 46%), 磷肥选用磷酸一铵 ($\text{P}_2\text{O}_5\ 64\%$, N 10%), 钾肥选用硫酸钾 ($\text{K}_2\text{O}\ 50\%$)。试验因素及水平编码见

收稿日期: 2011-05-25

基金项目: 新疆自治区重大专项“果树营养特性与水肥耦合技术研究”(200731136-5); 新疆自治区土壤学重点学科建设项目

作者简介: 孙霞 (1975-), 女, 江苏建湖县人, 讲师, 研究方向为土壤与植物营养。E-mail: sunxia1127@163.com。

* 通讯作者: 蒋平安 (1965-), 男, 四川乐至县人, 教授, 博士, 博士生导师, 研究方向为土壤、土壤信息系统、植物营养。E-mail: jiang863863@sina.com。

表 1. 萌芽~开花期滴灌施入 70%的氮肥、40%的磷肥、30%的钾肥,果实生长期滴灌施入 30%的氮肥、60%的磷肥、70%的钾肥。全生育期共灌溉 7 次,每次灌水量相同,萌芽及新梢生长期灌溉 4 次(萌芽前、萌芽后、新梢生长、开花前),果实生长期灌溉 3 次分别是在坐果、果实膨大、果实成熟期。

表 1 试验因素及水平编码
Table 1 Level code of experiment factors

因子 Factor	变量间距 Variable interval	变量设计水平 Variable design level				
		−1.6818	−1	0	1	1.6818
施氮量 X_1 Nitrogen	12	0	8	20	32	40
施磷量 X_2 Phosphorus	9	0	6	15	24	30
施钾量 X_3 Potassium	1.5	0	1	2.5	4	5

1.4 果实产量及品质指标测定

果实成熟期(10 月中旬)进行测产并采收,果实样品备室内试验分析。测产时每处理随机测三株单产,从东、南、西、北 4 个方向随机选取 10 个果实,用称重法测定单果重,折合成单位产量。可溶性固形物用 WYT-32 手持折光仪测定;可滴定酸用 NaOH 中和滴定法测定;可溶性糖采用蒽酮比色法测定;Vc 含量采用 2,6-二氯酚酚滴定法测定;果实硬度用 HP-30 型果实硬度计测定,测定时每个果实测定对应的两面,每处理测定 10 个果实,去皮后测定,取平均值;果形指数用游标卡尺测量果实纵横径,用纵横径之比表示;着色指数采用 5 级分类加权平均表示,分为 5 级;着色面积<20%为 1 级;着色 20%~40%为 2 级;着色 40%~60%为 3 级;着色 60%~80%为 4 级;着色>80%为 5 级^[9~11]。

1.5 数据处理

数据为两年试验结果的平均值,采用 DPS 6.5 完成数据分析与制图。

2 结果与分析

2.1 氮磷钾不同配比对苹果产量的影响

2.1.1 产量目标函数数学模型的建立与检验 采用逐步回归方法,利用 DPS 数据处理系统进行方程回归,建立苹果试验结果见表 2,将产量作为目标函数,上机运算获得苹果氮、磷、钾施用量与产量之间的数学模型,得到的产量方程为下式:

$$Y=2349.17+85.63X_1+63.05X_2+248.27X_3-2.06X_1^2-2.60X_2^2-66.42X_3^2+1.22X_1X_2+2.09X_1X_3-1.73X_2X_3$$

表 2 试验方案与各处理苹果产量结果
Table 2 The experiment treatments and yields

处理 Treatment	结构矩阵 Structure matrix			总量实施方案 Application scheme			
	X_1	X_2	X_3	N (kg/667m ²)	P ₂ O ₅ (kg/667m ²)	K ₂ O (kg/667m ²)	产量 Yields (kg/667m ²)
1	1	1	1	32	24	4	3751.29
2	1	1	−1	32	24	1	4257.94
3	1	−1	1	32	6	4	3603.20
4	1	−1	−1	32	6	1	3512.05
5	−1	1	1	8	24	4	3131.45
6	−1	1	−1	8	24	1	3284.80
7	−1	−1	1	8	6	4	3008.43
8	−1	−1	−1	8	6	1	3572.24
9	1.6818	0	0	40	15	2.5	4097.89
10	−1.6818	0	0	0	15	2.5	2772.84
11	0	1.6818	0	20	30	2.5	3645.60
12	0	−1.6818	0	20	0	2.5	3705.95
13	0	0	1.6818	20	15	5	3771.38
14	0	0	−1.6818	20	15	0	3920.82
15	0	0	0	20	15	2.5	4185.76

($F=4.4847$, $R=0.9433$, 显著水平 $p=0.0565$, 剩余标准差 $S=237.1258$)

方程中二次项系数均为负, 表明在试验条件下氮磷钾效应呈报酬递减趋势, 其产量随氮磷钾增加而增加, 但有其上限, 超过上限, 产量反而降低。通过模型分析得出以苹果产量为经济目标时各个因素的最佳组合为: 苹果产量 $4\,325.18\text{ kg}/667\text{ m}^2$, 施氮量 $27.06\text{ kg}/667\text{ m}^2$, 施磷量 $17.80\text{ kg}/667\text{ m}^2$, 施钾量 $2.06\text{ kg}/667\text{ m}^2$ 。因为采用的是逐步回归方法, 回归过程中已经剔除了不显著的偏回归系数, 结合方程显著性检验结果, 可以说明模型的回归关系达到显著水平, 能反映产量的变化过程, 可作为分析和预测预报的依据。

2.1.2 主效应分析 由于设计中各因素均经无量纲线性编码处理, 各偏回归系数不受因素取值的大小和单位的影响, 即已经标准化, 其绝对值大小直接反映变量对产量的影响程度^[12,13]。因此, 由数学模型中的回归系数绝对值大小顺序 $X_3>X_1>X_2$, 可得出本试验中各因素对产量影响的顺序: 钾>氮>磷, 且都对产量是正效应。氮与磷、氮与钾呈正交互作用, 磷与钾为负交互作用。

2.1.3 单因子效应分析 对回归方程进行降维分析, 可解析出单因子在其它因子居一定水平时的效应, 相当于做多组单因子试验^[14]。将回归模型中的氮、磷、钾三因子中的两个固定在零水平, 求得单因素对产量的回归子模型如下:

施氮量: $Y_1 = 2349.17 + 85.63X_1 - 2.06X_1^2$

施磷量: $Y_2 = 2349.17 + 63.05X_2 - 2.60X_2^2$

施钾量: $Y_3 = 2349.17 + 248.27X_3 - 66.42X_3^2$

令 $dy_i/dx_i = 0$, 求得 $Y_i (i = 1, 2, 3)$ 达极大值时各因子单独施用的最适量可得 $x_1 = 20.78$, $x_2 = 12.13$, $x_3 = 1.87$ 。由于 $d^2y_1/dx_1^2 < 0$, $d^2y_2/dx_2^2 < 0$ 和 $d^2y_3/dx_3^2 < 0$, 故 $x_1 = 20.78$, $x_2 = 12.13$, $x_3 = 1.87$ 时 Y_1 、 Y_2 、 Y_3 分别有最大值 $3\,239.03$ 、 $2\,731.4$ 和 $2\,581.17\text{ kg}/667\text{ m}^2$ 。

根据上述不同偏回归子模型可得到各因素在不同水平下的产量预测值, 其变化趋势见图 1。图中曲线的斜率越大, 说明该因素对苹果产量的影响越显著。

由图 1 可以看出, 施用氮磷钾肥对苹果产量都有一定的增产效应。随着其它因素固定水平的提高, 不同曲线上最高产量对应的其因素水平也增加, 这说明一个因素水平的提高, 只有其它因素水平相应提高才能达到较高产量。在其它因子假定为零水

平时, 产量随磷肥用量的增加变化趋势平缓, 表明施磷量对产量的影响不大, 施用氮肥, 直线呈上升趋势, 说明氮肥用量对苹果产量有明显影响。从图 1 中还可以看出, 施钾量对苹果产量的影响最为显著, 随着钾肥量的增大, 苹果产量显著增加。

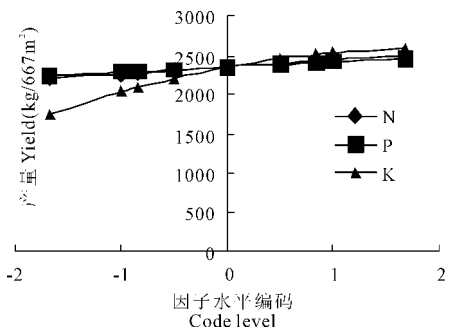


图 1 氮磷钾各因子对苹果产量的效应分析

Fig.1 Analysis of effect of N,P,K factors on apple yield

2.2 氮磷钾不同配比对苹果品质的影响

由表 3 可以看出, 不同氮磷钾施肥配比对苹果品质产生了不同程度影响。单果重最大值 278.06 g , 出现在氮磷钾都相对丰富的第 1 组处理, 最小值 197.54 g , 出现在氮肥极度缺乏而磷钾肥适中的第 12 组处理。表明氮素供应对提高果实单果重有明显效果。最佳果形指数出现在氮磷钾供应都相对丰富的处理 15。虽然处理 9 表现出较高的单果重, 但果形指数却是所有处理中最小的, 表明高氮对增加果品重量有效果, 却对改善果形无益。最佳的着色指数出现在处理 5 和处理 13 中, 说明在土壤中适当增施磷钾肥有利于改善果实的着色情况。

果实硬度是果实品质高低、耐贮耐运的标志^[15]。由表 4 可以看出, 果实硬度的最大值出现在氮素适中而磷钾素较为丰富的处理 13 中, 为 $8.60\text{ kg}/\text{cm}^2$, 最小值在氮肥极为缺乏而磷钾素适中的处理 10 中, 为 $7.47\text{ kg}/\text{cm}^2$ 。分析数据表明, 氮素供应适中处理的果实硬度高于高氮和无氮处理, 说明氮素过高或过低都不利于提高果实硬度。

果汁中可溶性固形物的多少是衡量果实品质的重要指标, 它在果实中含量的高低直接影响到苹果的风味、营养价值及贮运性能。各处理下可溶性固形物含量差异显著。最高值出现在磷肥极丰氮钾适中的处理 11, 最小值在氮肥极丰磷钾适中的处理 9 中。分析表明在磷钾肥供应相同的条件下, 随着氮肥供应的增多, 可溶性固形物的含量在逐渐下降, 表明高氮不利于果实内含物的积累, 影响果实的内在品质。

糖度和酸度是果实品质高低的重要指标, 反映

了果实口感和风味。研究结果表明,果园中增施氮磷钾肥有利于果实糖分的积累,且以氮和钾对苹果糖分的积累更为显著,从而改善果实口感。施磷钾量相同时,氮肥供应越多,果实可滴定酸含量越高。N、P 供应相同时,施用钾肥对降低果实酸度效果不

明显。N、K 供应相同时,果实酸度表现为高磷>中磷>低磷,故生产中为降低果实酸度应控制磷肥的施用量和减少氮素供应。对 Vc 含量测定结果则表明,氮、磷素供应相同时,较高的施钾量比中钾和低钾处理表现出更高的 Vc 含量。

表 3 不同氮磷钾施肥处理的苹果果实品质
Table 3 Quality of apple with different N、P、K fertilizer treatments

处理 Treatment	果形指数 Fruit shape	单果重 Fruit weight	果实硬度 Fruit hardness (kg/cm ²)	可溶性 固形物 Soluble solid (%)	可滴定酸 Titratable acid (%)	可溶性糖 Soluble sugar (%)	Vc Vitamin (mg/100g)	着色 指数 Color index
1	0.86 _{gh}	278.06 _a	8.43 _{cd}	15.12 _d	0.48 _d	14.36 _{bc}	3.70 _b	4
2	0.86 _i	245.29 _d	8.57 _{ab}	14.52 _e	0.50 _c	14.13 _d	3.46 _e	3
3	0.88 _f	263.18 _{bc}	8.53 _{bc}	14.00 _{gh}	0.44 _e	11.88 _g	3.29 _g	4
4	0.86 _i	230.22 _e	8.30 _{ef}	13.85 _h	0.53 _b	11.96 _f	3.18 _h	3
5	0.93 _e	229.02 _e	8.28 _{ef}	15.25 _d	0.48 _d	14.43 _c	3.56 _{cd}	5
6	0.87 _{fg}	212.73 _{fg}	8.32 _{def}	15.27 _d	0.43 _{ef}	14.22 _d	3.38 _f	3
7	0.92 _{cd}	223.55 _{ef}	8.25 _f	14.33 _f	0.42 _f	11.44 _h	3.17 _h	4
8	0.89 _e	202.43 _h	8.30 _{ef}	14.20 _{fg}	0.39 _g	11.06 _i	3.02 _i	3
9	0.85 _{hi}	267.31 _b	7.90 _g	13.00 _i	0.55 _a	13.44 _e	3.60 _c	4
10	0.86 _{fg}	197.54 _h	7.47 _h	14.30 _f	0.43 _f	12.08 _f	3.40 _{de}	3
11	0.90 _e	246.21 _d	8.33 _{de}	16.35 _a	0.40 _g	14.56 _b	3.87 _a	4
12	0.87 _{fg}	221.37 _{efg}	8.45 _d	15.17 _d	0.45 _e	11.03 _i	3.61 _c	3
13	0.96 _b	243.56 _d	8.60 _a	16.18 _a	0.47 _d	14.78 _a	3.77 _a	5
14	0.91 _{de}	216.90 _g	8.34 _{cd}	15.45 _c	0.47 _d	14.42 _c	3.49 _{de}	2
15	1.02 _a	255.68 _c	8.56 _{ab}	15.90 _b	0.52 _b	14.26 _d	3.64 _c	4

注:表中同列数据不同字母表示差异显著($P<0.05$)。
Note: Different letters in the same row mean significant difference at 0.05 level.

3 讨论与结论

果园施肥作为一项重要的管理措施,对果品产量的提高和品质的改善都起着重要的作用。合理的施肥不仅可以提高果实的品质,而且还影响着果园的土壤肥力和经济效益。果树生长所需营养元素都有一合适的比例,比例恰当^[16,17],产量提高,品质优良。陈守—^[18]认为,果实膨大期氮磷钾配合施用可以提高果实的含糖量,降低含酸量从而提高果实品质。由于受“新疆土壤富钾”的传统观念的影响,果农往往忽视钾肥的施用,偏施氮、磷肥,加之目前对于新疆南部苹果施肥技术缺乏深入研究,果农尚未重视钾素对苹果产量和品质的重要影响。

本试验条件下,氮、磷、钾肥的施用对苹果产量都产生了影响。试验得出了南疆干旱地区滴灌红富士苹果氮、磷、钾产量耦合模型,经检验达到了显著水平,可以用于预报和指导生产。试验证明,氮、磷、钾三因素影响苹果产量的顺序为钾肥>氮肥>磷肥。且都对产量是正效应。氮与磷、磷与钾呈正交

互作用,氮与钾为负交互作用。以苹果产量达到最高值 4 325.18 kg/667m² 时,各个因素的最佳组合为:氮、磷、钾肥的施用量分别为 27.06 kg/667m²、17.80 kg/667m²、2.06 kg/667m²。

氮素过高或过低都不利于提高果实硬度,这一结果在前人的研究中也得到了证实^[19],高氮不利于果实内含物的积累;施磷钾量相同时,氮肥供应越多,果实可滴定酸含量越高。施用氮肥和钾肥对促进苹果糖分的积累效果显著;氮、磷素供应相同时,较高的施钾量比中钾和低钾处理表现出更高的 Vc 含量。

参 考 文 献:

[1] 赵佐平,同延安,高义名.不同肥料配比对富士苹果产量及品质的影响[J].植物营养与肥料学报,2010,15(5):1130—1135.
[2] 包雪梅,张福锁,马文奇.陕西省有机肥料施用状况分析评价[J].应用生态学报,2003,14(10):1669—1672.
[3] 朴顺姬,朴 宇,朱虎烈.不同氮磷钾比例对苹果、梨品质的影响[J].吉林农业科学,2002,27(2):30—34.
[4] 张西露,汤小明,刘明月,等.NPK 对马铃薯生长发育、产量和品

- 质的影响及营养动态[J]. 安徽农业科学, 2010, 38(18): 9466—9469.
- [5] 熊先勤, 王柏渊, 韩永芬. 氮磷钾配比对稻田轮作黑麦草产量的影响[J]. 贵州农业科学, 2010, 38(6): 134—136.
- [6] 王旭刚, 郝明德, 李建民, 等. 氮磷配施对旱地小麦产量和吸肥特性的影响[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2007, 35(2): 138—142.
- [7] 彭建伟, 刘 强, 荣湘民, 等. 氮磷钾配比及氮用量对水稻光合特性及产量的影响[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版), 2004, 30(2): 123—127.
- [8] 韦 伟, 高 雪, 陈海燕, 等. 氮磷钾配施对贵椒 4 号产量及品质的影响[J]. 贵州农业科学, 2010, 38(7): 31—34.
- [9] 刘国荣, 陈海江, 徐继忠. 矮化中间砧对红富士苹果果实品质的影响[J]. 河北农业大学学报, 2007, 30(4): 24—27.
- [10] 何学涛, 牛俊义, 刘建华. 不同施肥水平对苹果产量及品质的影响[J]. 甘肃农业大学学报, 2010, 45(2): 83—86.
- [11] 王春枝, 朱福磊, 刘丽杰. 氮磷钾肥对红富士苹果产量、品质和叶片矿质元素含量的影响[J]. 中国果树, 2009, (2): 14—16.
- [12] 穆兴民. 水肥耦合效应与协同管理[M]. 北京: 中国林业出版社, 1999: 14—39.
- [13] 张东昱, 陈修斌, 张文斌. 荒漠化地区温室黄瓜水肥耦合效应量化指标研究[J]. 土壤通报, 2010, 41(2): 351—354.
- [14] 翟丙年, 李生秀. 冬小麦产量水肥耦合模型[J]. 中国工程科学, 2002, 4(9): 69—74.
- [15] 束怀瑞. 苹果学[M]. 北京: 中国农业出版社, 1999: 149.
- [16] 姜远茂, 张宏彦, 张福锁. 北方落叶果树养分资源综合管理理论及实践[M]. 北京: 中国农业大学出版社, 2007: 57—81.
- [17] 黄显淦, 王 勤, 赵天才. 钾素在我国果树优质增产中的作用[J]. 果树科学, 2000, 17(4): 309—313.
- [18] 陈守一, 彭玉基, 杨再英. 柑桔果实膨大期增进果实品质的氮磷钾平衡施肥研究[J]. 广西园艺, 2000, (4): 3—4.
- [19] 高东华. 土壤水分对红富士苹果果实品质的影响[D]. 保定: 河北农业大学, 2009: 21—23.

Different ratios of N, P and K fertilizers on yield and quality of Fuji apple in south Xinjiang

SUN Xia, CHAI Zhong-ping, JIANG Ping-an*

(College of Grassland and Environmental Sciences, Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830052, China)

Abstract: Three-factor five-level quadratic regression was used to study the effects of different ratios of N, P and K fertilizers on the yield and quality of fifteen-year old Fuji apple trees in south Xinjiang. The results showed that the order of effects on yield were potassium>nitrogen>phosphorus and they were all positive. N and P, P and K were positively interacted, while N and K were negatively interacted. With apple production 4 325.18 kg/667m² as the goal, the optimal combination of N, P and K were respectively 27.06 kg/667m², 17.80 kg/667m² and 2.06 kg/667m². The influence on quality showed that high N can increase fruit weight but can not either improve its shape or enhance the accumulation of content in fruit. Appropriate P and K can improve fruit color, while too high or too low N can not improve fruit hardness. N and K can promote significantly sugar accumulation in fruit. Controlling P and N supplying can reduce the fruit acidity to some extent. High K treatment produce high Vc content.

Keywords: apple; yield; ratio of nutrients; quality