

‘富士’苹果果实品质与海拔的相关性分析

段鹏伟, 马筱建, 石海强, 杜纪壮, 秦立者, 徐国良, 杨素苗

(河北省农林科学院石家庄果树研究所, 石家庄 050000)

摘要:为明确苹果果实品质与海拔的相关性关系,以河北省44个果园的‘富士’苹果为试材,采用成熟期采样、测定和相关性分析的方式,研究果实外观品质、内在品质、质构特性与海拔高度的相关性。果园平均海拔247.77 m,在果实外观品质方面,果实单果重与海拔呈显著负相关($r=-0.33, P<0.05$),着色指数与海拔呈极显著正相关($r=0.43, P<0.01$),梨果指数与海拔呈极显著负相关($r=-0.64, P<0.01$);在果实内在品质方面,果实可溶性固形物含量与海拔呈显著正相关($r=0.37, P<0.05$),硬度、可滴定酸、固酸比均与海拔无显著相关性;在果实质构特性方面,果实粘附性与海拔呈显著负相关($r=-0.30, P<0.05$),内聚性与海拔呈显著正相关($r=0.34, P<0.05$),脆裂性与海拔呈显著正相关($r=0.30, P<0.05$),胶粘性与海拔呈显著正相关($r=0.30, P<0.05$),咀嚼性与海拔呈显著正相关($r=0.32, P<0.05$),弹性与海拔无显著相关性。海拔高度在700 m以下时,较高的海拔能够显著提高果实的外观品质和可溶性固形物含量,海拔高度与果实质构特性显著相关。

关键词:苹果;海拔;相关性;果实品质;质地剖面分析

中图分类号:S661.1

文献标志码:A

论文编号:casb2020-0329

Correlation Analysis of Fruit Quality of ‘Fuji’ Apple and Altitude

Duan Pengwei, Ma Xiaojian, Shi Haiqiang, Du Jizhuang, Qin Lizhe, Xu Guoliang, Yang Sumiao

(Shijiazhuang Institute of Fruit Trees, Hebei Academy of Agriculture and Forestry Sciences, Shijiazhuang 050000)

Abstract: Using ‘Fuji’ apples from 44 orchards in Hebei Province as test materials, the correlation of fruit quality of ‘Fuji’ apples and cultivation altitude was studied using sampling, measurement and correlation analysis at maturity. The average altitude of apple orchards in Hebei Province was 247.77 m. In terms of fruit appearance quality, single fruit weight was significantly and negatively correlated with altitude ($r=-0.33, P<0.05$). The coloring index was extremely significantly and positively correlated with altitude ($r=0.43, P<0.01$), and the fruit splitting index was highly significantly and negatively correlated with altitude ($r=-0.64, P<0.01$). In terms of fruit quality, the soluble solid content of the fruit was significantly and positively correlated with altitude ($r=0.37, P<0.05$). Hardness, titratable acid content and solid acid ratio were not significantly correlated with altitude. In terms of fruit texture characteristics, the adhesiveness was significantly and negatively correlated with altitude ($r=-0.30, P<0.05$). The cohesiveness was significantly and positively correlated with altitude ($r=0.34, P<0.05$). The fracture ability and gumminess were significantly and positively correlated with altitude ($r=0.30, P<0.05$). The chew ability was significantly and positively correlated with altitude ($r=0.32, P<0.05$). The springiness was not significantly correlated with altitude. When altitude is below

基金项目:河北省重点研发计划项目“苹果园智能精准水肥管理技术集成与示范”(19226818D);河北省二期现代农业产业技术体系创新团队项目“河北省现代农业产业技术体系水果创新团队”(HBCT2018100201);河北省农林科学院创新工程项目“苹果、梨全程机械化生产模式研究与装备研发”(2019-3-6-1)。

第一作者简介:段鹏伟,男,1993年出生,河北武安人,研究实习员,硕士,研究方向为果树生理及栽培。通信地址:050000 河北石家庄长安区学府路5号 河北省农林科学院石家庄果树研究所, Tel:0311-87659929, E-mail:sgsdpw@163.com。

通讯作者:杨素苗,女,1982年出生,河北平山人,副研究员,博士,主要从事果树栽培生理研究。通信地址:050000 河北石家庄长安区学府路5号 河北省农林科学院石家庄果树研究所, Tel:0311-87659929, E-mail:gss318@163.com。

收稿日期:2020-08-05, **修回日期:**2021-06-03。

700 m, higher altitude can significantly improve the appearance quality and soluble solids' content of fruits, and the altitude has a significant correlation with the fruit texture characteristics.

Keywords: apple; altitude; correlation; fruit quality; TPA

0 引言

中国是世界最大的苹果生产国^[1], 占全球苹果产量(7435万t左右)的50%以上^[2]。2020年中国鲜苹果出口量为105.8万t, 进口量7.6万t^[3], 国内人均年消费苹果量约为120个, 苹果产业正由高产量发展转向高质量发展。‘富士’是国内栽培面积最大的苹果品种^[4], 其果实品质主要由果实外在品质、内在品质构成, 外观品质是苹果最重要的商品指标之一, 内在品质用以衡量果实风味和营养价值^[5]。此外, 果实质地特性也是重要的口感指标。

苹果品质主要受土壤养分、气候条件和栽培技术措施的综合影响^[6-8]。气候条件组分复杂, 不同气象因子的贡献率也不同^[9]。海拔变化会引起植物生长所需的温度、光照、湿度等生态因子改变^[10], 其对苹果品质的影响研究集中在西部黄土高原优生区^[11-13], 苹果环渤海湾优势产区相关研究未见报道。果实质地多是凭借

感官进行评价, 误差较大^[14]。质地剖面分析法TPA(texture profile analysis)模拟人牙齿咀嚼运动, 可对果实的质地特性进行精确的定量描述, 能够一定程度地减少人为主观评价造成的误差, 是目前进行质地分析应用较多的一种方法, 其在水果中的研究主要应用于葡萄、柑橘、黄桃、鸭梨等树种^[15-18]。苹果质地的研究大多是以整个果实为材料^[19-20], 针对果肉的相关研究较少。笔者以河北地区果园的‘富士’苹果为试材, 通过测定分析‘富士’果实外在品质、内在品质和质构特性, 研究海拔高度对果实品质指标的影响, 以明确‘富士’苹果果实品质与栽培海拔的相关性, 为果实品质的相关研究提供借鉴和参考。

1 材料与方法

1.1 试验时间、地点

研究所选区域为河北省33个苹果种植县共44个‘富士’苹果园(表1)。南起邯郸市磁县, 北至承德市

表1 果园地理位置及2019年气象指标

果园编号	果园地点	海拔/m	纬度/°N	经度/°E	年均温/°C	年降水量/mm	年日照时数/h
1	磁县申家沟	300	36.41	114.01	15.18	408.80	1989.25
2	永年西河东堡	56	36.60	114.69	15.60	306.60	2018.45
3	武安赵庄	430	36.69	113.97	15.51	383.25	1894.35
4	曲周相公庄	42	36.76	115.01	14.20	434.35	2117.00
5	邱县梁二庄	38	36.73	115.27	12.48	419.75	2135.25
6	沙河市白塔	276	36.86	114.50	14.59	288.35	2157.15
7	平乡襄冯马	17	37.08	115.08	15.07	343.10	2230.15
8	邢台寨上	540	37.19	113.92	15.11	379.60	2084.15
9	邢台禅林寺村	542	37.27	113.94	15.11	379.60	2084.15
10	邢台北店村	510	37.31	114.10	15.11	379.60	2084.15
11	内丘岗底村王家	520	37.33	114.10	14.03	324.85	2186.35
12	内丘岗底村杨家	530	37.33	114.10	14.03	324.85	2186.35
13	枣强扈嘉会村	25	37.39	115.79	14.52	427.05	2288.55
14	景县姜园村	24	37.63	116.05	14.84	503.70	2525.80
15	衡水桃城区	24	37.74	115.67	14.79	335.80	2346.95
16	深州东留村	26	38.10	115.80	14.87	295.65	2456.45
17	武邑李庄村	23	38.14	115.42	14.76	292.00	2263.00
18	饶阳杨各庄村	22	38.17	115.68	13.41	321.20	2332.35
19	赞皇军营村	310	37.70	114.22	14.60	357.70	2124.30
20	栾城北石碑村	50	37.88	114.72	15.10	332.15	2160.80
21	井陉东山	310	38.06	114.06	14.27	343.10	2284.90

续表1

果园编号	果园地点	海拔/m	纬度/°N	经度/°E	年均温/°C	年降水量/mm	年日照时数/h
22	鹿泉西薛庄	255	38.09	114.23	14.46	383.25	2398.05
23	平山县恶石村	630	38.17	113.78	14.46	383.25	2398.05
24	井陉王庄	180	38.19	114.15	14.27	343.10	2284.90
25	平山东焦	136	38.19	114.20	14.46	383.25	2398.05
26	平山元坊韩家	509	38.26	114.22	14.46	383.25	2398.05
27	平山元坊合作社	519	38.26	114.22	14.46	383.25	2398.05
28	肃宁曲三	13	38.37	115.83	13.67	481.80	2449.15
29	曲阳寺南庄村	120	38.60	114.62	12.63	518.30	2372.50
30	曲阳刘家马村	128	38.68	114.73	12.63	518.30	2372.50
31	顺平南神南李家	280	38.84	115.14	13.33	518.30	2336.00
32	顺平南神南杨家	280	38.84	115.14	13.33	518.30	2336.00
33	易县北界安村	65	39.18	115.34	12.80	310.25	2299.50
34	乐亭瓦房庄村	-7	39.34	119.08	13.37	591.30	2478.35
35	滦州燕子峪村	80	39.91	118.43	13.35	540.20	2494.78
36	玉田高家团城村	70	39.99	117.58	12.53	383.25	2555.00
37	遵化新立村	202	40.18	117.62	13.32	489.10	2511.20
38	抚宁王汉沟	185	40.11	119.27	12.64	598.60	2555.00
39	青龙县丰果	357	40.51	119.22	11.34	704.45	2460.10
40	宽城西岔沟	310	40.51	118.66	10.41	605.90	2529.45
41	宽城于杖子	300	40.63	118.43	10.41	605.90	2529.45
42	承德全宝河	505	40.71	118.02	10.00	419.75	2617.05
43	平泉双峰合作社	590	41.20	118.85	8.38	452.60	2730.20
44	平泉双峰马家	580	41.20	118.85	8.38	452.60	2730.20

平泉市,北纬 $36^{\circ}41'—41^{\circ}20'$,东经 $113^{\circ}78'—119^{\circ}27'$,果园海拔高度范围为 $-5\sim 700$ m。2019年河北省年平均气温 12.9°C ,年平均降水量 437.6 mm,年平均日照时数 2373.3 h,气象数据来自果园自建气象站或距其最近的乡镇(或县区)气象站。

1.2 试验材料

2019年10—11月,分别于当地果实最适采收期,在每个果园随机选择长势中庸的成龄长枝‘富士’苹果树3棵,每棵树从4个方向随机摘取10个果实,即每个果园共取30个果实,取样后4 h内保存于果品保鲜库中。

1.3 测定指标和方法

1.3.1 外观品质指标 单果重根据NY/T 2316—2013苹果品质指标评价规范称量。着色指数为目测着色部分在整个果实的面积占比。裂果指数为目测裂果部分在整个果实的面积占比。

1.3.2 内在品质指标 硬度用GY-1型果实硬度计测量果实去皮后中部的3面。可溶性固形物采用PAL-1型

数字糖度计测定。可滴定酸采用GMK-835F型水果酸度计测定。固酸比由可溶性固形物与可滴定酸的比值计算。

1.3.3 质构特性 弹性、粘附性、内聚性、脆裂性、胶粘性、咀嚼性用美国FTC公司的TMS-PRO质构仪TPA(texture profile analysis)法测定。沿果梗将苹果切为2瓣,使用14 mm的打孔器在苹果的4个角取样,用切分宽度4.5 mm的双刀切取居中部位作为试样。质构仪感应元量程250 N,圆柱形探头,回升高度30 mm,形变百分量60,检测速度60 mm/min,最小力0.1 N。

1.4 数据分析

采用Excel 2013进行数据统计和作图,采用DPS 15.0统计软件进行相关性和差异显著性分析。

2 结果与分析

2.1 外观品质与海拔的相关性分析

2.1.1 单果重与海拔的相关性分析 单果重平均值为 247.53 g。最大值 321.93 g,最小值为 143.60 g,最大值

是最小值的2.24倍,极差为178.33 g。单果重最大的果园海拔为13 m,单果重最小的果园海拔为300 m。低于平均海拔247.77 m的所有果园中,平均单果重为261.27 g,高于平均海拔的果园所有果园中,平均单果重为233.78 g,两者差异显著。由图1可以看出,总体上果实的单果重随海拔的升高呈下降的趋势,由表2可知,单果重与海拔呈显著负相关($r=-0.33, P<0.05$)。

2.1.2 着色指数与海拔的相关性分析 着色指数均值为79.35%,超过均值的果园共有26个,占比59.09%。着色指数达到95%以上的果园有15个,占比34.09%;着色指数达100%的有4个,占比9.09%。从图2来看,果实的着色指数随着海拔的升高而增大,由表1可知与海拔呈极显著正相关($r=0.43, P<0.01$)。当海拔达到184.65 m,果实平均着色指数为85.08%;海拔达到319.65 m,果实平均着色指数90.05%;海拔达到551.98 m,果实平均着色指数95%。

2.1.3 裂果指数与海拔的相关性分析 果实平均裂果指数为12.47%。由图3可得,果实裂果指数随着海拔的升高逐渐降低,由表1可知,其与海拔呈极显著负相关($r=-0.64, P<0.01$)。无裂果的果园有13个,占总数的29.55%,其最低海拔为202 m。裂果指数不超过10%的果园有24个,占总数的54.55%。当海拔高于213.18 m时,果实平均裂果指数小于10%;海拔达到399.22 m时,果实平均裂果指数小于5%。

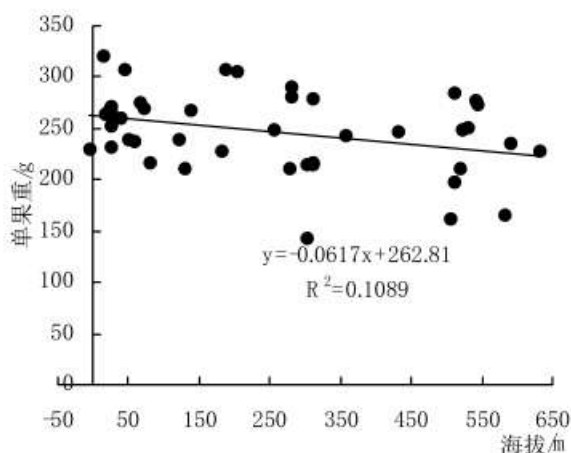


图1 果实单果重随海拔的变化情况

表2 ‘富士’苹果果实外观品质与海拔高度的相关性分析

	单果重	着色指数	裂果指数
海拔	-0.33*	0.43**	-0.64**

注:*表示在 $P=0.05$ 水平显著相关,**表示在 $P=0.01$ 水平显著相关,下同。

2.2 内在品质与海拔的相关性分析

2.2.1 果实硬度与海拔的相关性分析 果实硬度介于7.01~10.57 kg/cm²之间,平均硬度为8.42 kg/cm²,极差为3.56 kg/cm²,差值为最小值的50.78%。硬度高于均值的果园有19个,占43.18%,平均海拔为300 m;硬度低于均值的果园有25个,占56.82%,平均海拔为208.08 m。由表3可知,果实硬度与海拔高度的相关性不显著。

2.2.2 可溶性固形物含量与海拔的相关性分析 果实可溶性固形物含量的均值为13.59%,最高值和最低值分别为17.44%和10.51%,极差为6.93%。低于247.77 m的果园,其可溶性固形物含量均值为13.07%,高于平均海拔的果园。其均值为14.11,两者差异显著。由图5可知,果实可溶性固形物含量随海拔的升高而增高,

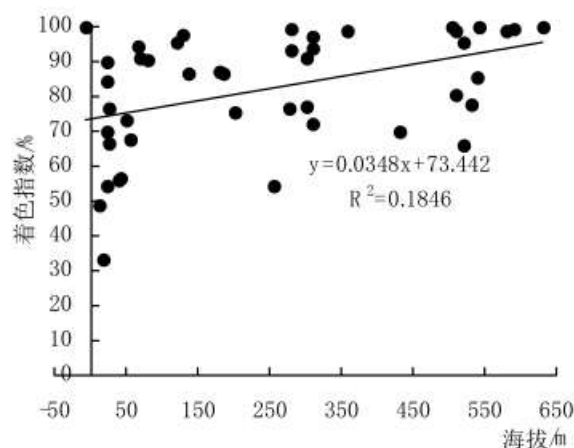


图2 果实着色指数随海拔的变化情况

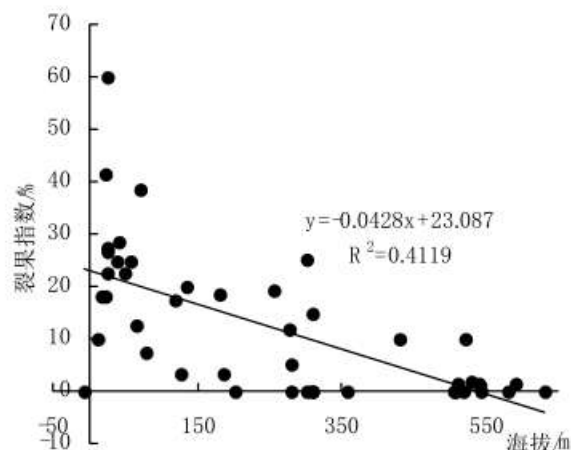


图3 果实裂果指数随海拔的变化情况

表3 ‘富士’苹果果实内在品质与海拔的相关性分析

	硬度	可溶性固形物含量	可滴定酸含量	固酸比
海拔	0.24	0.37*	0.22	0.07

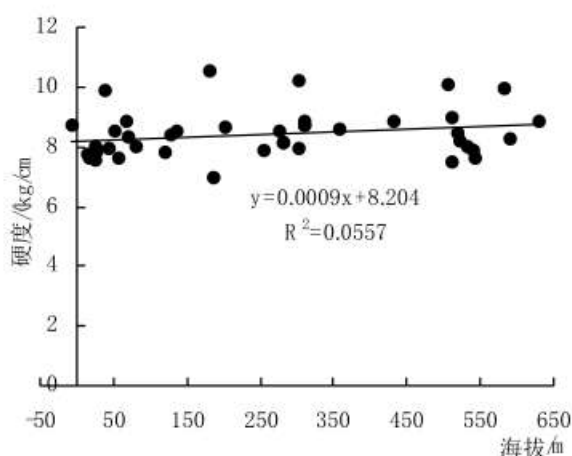


图4 果实硬度随海拔的变化情况

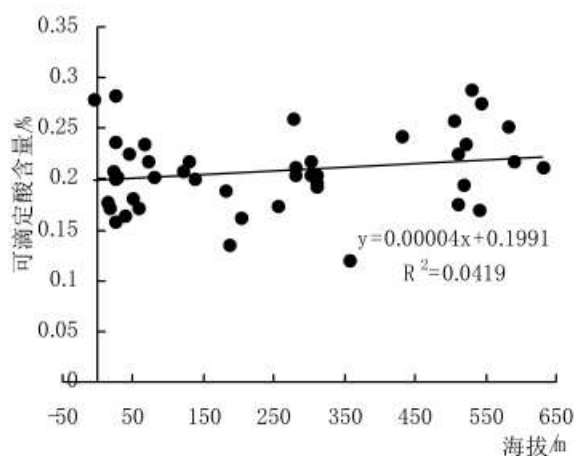


图6 果实可滴定酸含量随海拔的变化情况

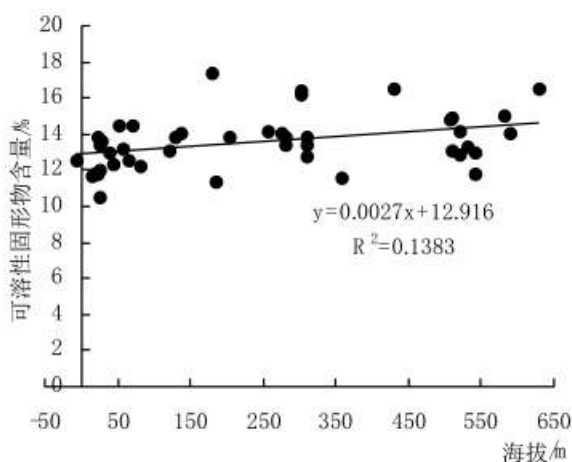


图5 果实可溶性固形物含量随海拔的变化情况

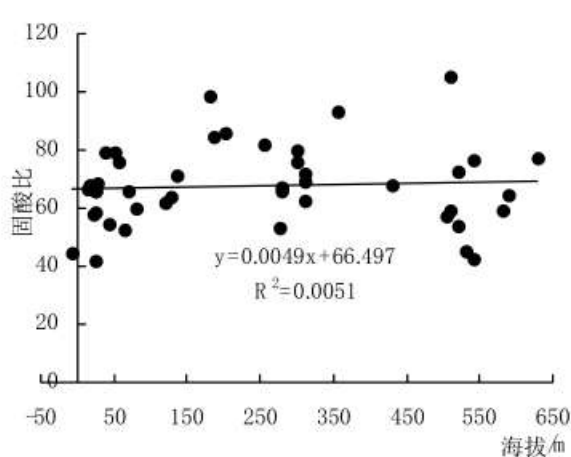


图7 果实固酸比随海拔的变化情况

由表3可知,果实可溶性固形物含量与海拔呈显著正相关($r=0.37, P<0.05$)。

2.2.3 可滴定酸含量与海拔的相关性分析 果实可滴定酸含量的均值为0.21%,最高值为0.29%,最低值为0.12%,极差为0.17%。最高值和最低值对应的海拔高度分别为530、17 m。低于平均海拔的果园,可滴定酸含量均值为0.20%,高于平均海拔的果园其均值为0.22%,由表3可知,果实可滴定酸含量与海拔无显著相关性。

2.2.4 固酸比与海拔的相关性分析 果实固酸比的均值为67.70,最大值和最小值分别为105.66和42.12,极差为63.54。固酸比最大值对应的果园海拔为509 m,最小值固酸比对应的果园海拔高度为24 m,由图7可以看出,果实固酸比随海拔的变化趋势不明显,由表3可知,果实固酸比与海拔也无显著相关性($r=0.04$)。

2.3 质地剖面与海拔的相关性分析(TPA)

2.3.1 弹性与海拔的相关性分析 弹性指形变样品在去

掉挤压力时恢复原状的比率,在质构仪分析中其数值为第一次挤压结束后第二次挤压开始前样品恢复的高度。果实弹性的数值大小介于2.31和1.33 m之间,平均值为1.76 m,极差为0.98 m。由图8可知,各海拔梯度内的弹性值分布均较分散,由表4可知,弹性与海拔无显著相关性。

2.3.2 粘附性与海拔的相关性分析 粘附性指克服食品表面同其他物质表面接触之间的吸引力所需要的能量。粘附性平均值为0.45 J,最大值为0.71 J,最小值为0.19 J,极差为0.52 J,最大值是最小值的3.74倍。低于平均海拔的果园,其粘附性均值为0.50 J,高于平均海拔的均值为0.40 J,比低海拔地区减少了20%。由图9可知,粘附性随着海拔的升高而减小,由表4可知,

表4 ‘富士’苹果果实质构特性与海拔的相关分析

	弹性	粘附性	内聚性	脆裂性	胶粘性	咀嚼性
海拔	0.11	-0.30*	0.34*	0.30*	0.30*	0.32*

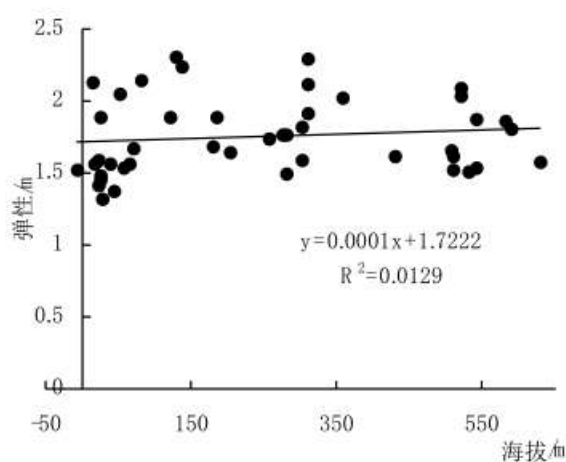


图8 果实弹性随海拔的变化情况

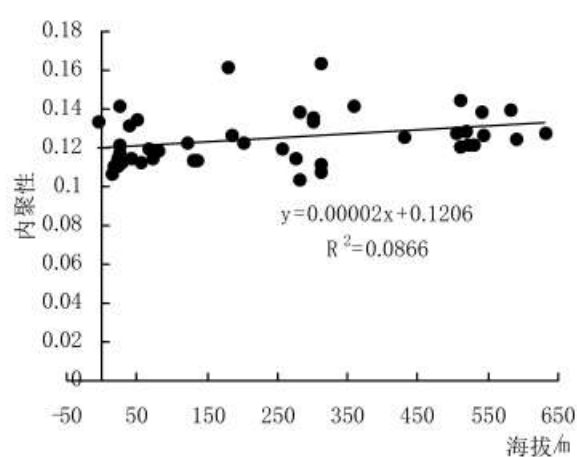


图10 果实内聚性随海拔的变化情况

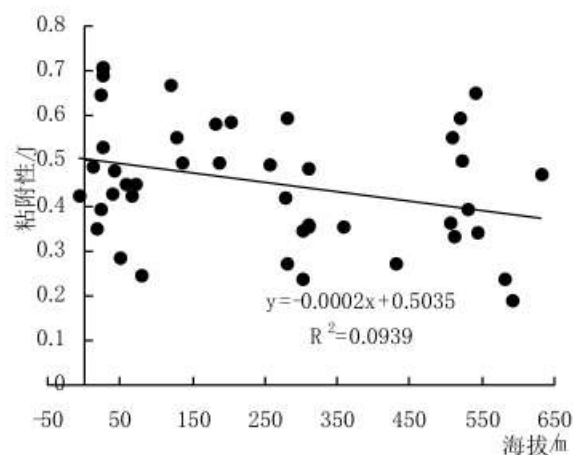


图9 果实粘附性随海拔的变化情况

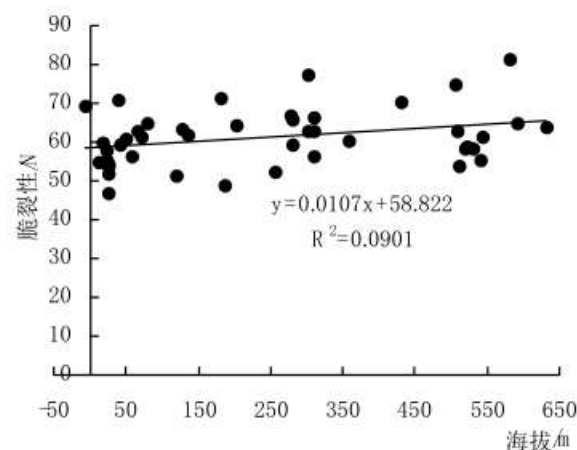


图11 果实脆裂性随海拔的变化情况

粘附性与海拔呈显著负相关($r=-0.30, P<0.05$)。

2.3.3 内聚性与海拔的相关性分析 内聚性指果实样品内部的收缩力,数值越大,说明样品内聚性越强。内聚性平均值为0.13,最大值和最小值分别为0.16和0.10,极差为0.06。最大值和最小值对应的海拔高度分别为180、280 m。由图10可知,内聚性随海拔的升高而增强,由表4可知,内聚性与海拔呈显著正相关($r=0.34, P<0.05$)。

2.3.4 脆裂性与海拔的相关性分析 脆裂性指样品折断时的力。脆裂性平均值为61.47 N,最大值为81.64 N,最小值为47.20 N,极差为34.44 N。最大值对应海拔高度为580 m,最小值对应海拔高度为25 m,高于平均海拔的果实脆裂性均值为63.60 N,比低于平均海拔的脆裂性均值高7.16%。由图11可知,脆裂性随海拔的升高而增大,由表4可知,脆裂性与海拔呈显著正相关($r=0.30, P<0.05$)。

2.3.5 胶粘性与海拔的相关性分析 胶粘性指半固体食

品吞咽前破碎它需要的能量。胶粘性平均值为8.44 N,最大值和最小值分别为13.46和6.00 N,极差为7.46 N。最大值比平均值高59.48%,是最小值的2.24倍。由图12可知,胶粘性随海拔的升高而增大,由表4可知,胶粘性呈显著正相关($r=0.30, P<0.05$)。

2.3.6 咀嚼性与海拔的相关性分析 咀嚼性指咀嚼固体样品时需要的能量。咀嚼性介于22.48~8.94 J之间,极差为13.54 J。低于平均海拔的果园和高于平均海拔的果园,其咀嚼性均值分别为13.77、15.85 J,两者差异显著。由图13可看出,咀嚼性随着海拔的升高而增大,由表4可知,咀嚼性与海拔呈显著正相关($r=0.32, P<0.05$)。

3 结论与讨论

笔者对河北地区的44个果园进行取样,对果实的品质进行测定,并将其与栽培海拔进行相关性分析。结果表明,河北省苹果园的海拔高度在7~700 m之间,平均海拔高度247.77 m,在果实外观品质方面,果实单

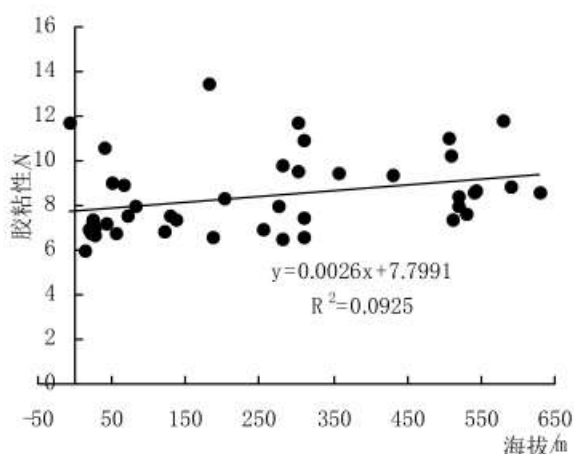


图12 果实胶粘性随海拔的变化情况

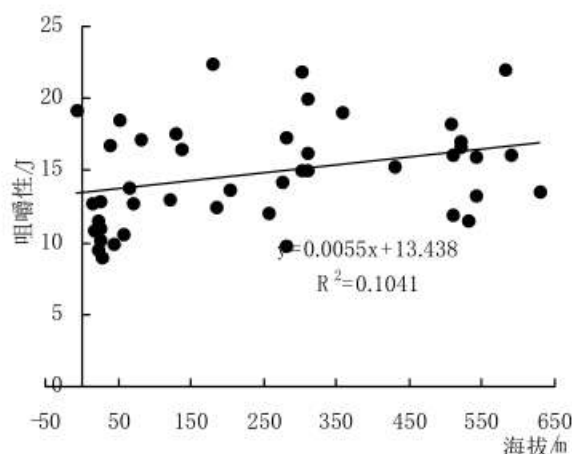


图13 果实咀嚼性随海拔的变化情况

果重均值为247.53 g,略低于全国平均值251.63 g^[9],与海拔呈显著负相关,这可能是由于海拔升高,导致紫外线增加,从而影响了果实生长^[21]。着色指数均值为79.35%,与海拔呈极显著正相关,这可能是由于随着海拔升高,光照强度变大,促进果实花色苷降解,利于果皮上色,此结果与甘肃高海拔地区着色指数随海拔先升高后降低的研究结果不同^[22],可能是由于环渤海优生区海拔较低,光照强度还未达到抑制着色的临界值。裂果指数均值为12.47%,与海拔呈极显著负相关,这可能是由于低海拔地区温度较高,而且果实套袋会使袋内温度比气温高10~25℃,造成了果皮提前老化。

在果实内在品质方面,果实可溶性固形物含量均值为13.59%,与海拔呈显著正相关,这与甘肃地区的研究结果不同^[22];硬度、可滴定酸、固酸比均值分别为8.42 kg/cm²、0.21%、67.70,均与海拔无显著相关性,其中可滴定酸相关方面的结果与西北地区果实可滴定酸含量随海拔升高而不断增大变化的不同^[23],这可能是果园立地条件及气候差异所导致。

在果实质构特性方面,本研究采用的是食品类的TPA测定,模拟仿真人咀嚼及吞咽小块果肉的状态。结果显示,果实粘附性与海拔呈显著负相关;内聚性、脆裂性、胶粘性、咀嚼性与海拔呈显著正相关;弹性与海拔无显著相关性。总体上,较高海拔地区的果实粘附性小,内聚性、脆裂性、胶粘性、咀嚼性大,低海拔地区的果实口感更加酥脆、粘牙、易咀嚼。

海拔的变化会引起环境气候的多项组分变化,其对果实品质的影响也是多方面的^[24-25]。将海拔作为指标来分析其对果实品质的影响,应该将其看作一个综合性的影响因子。海拔对果实质构特性影响显著,较高的海拔能够提高果实的外观品质和可溶性固形物含

量。国内其他苹果产区有的果园海拔在1000 m以上,甚至达到2000 m以上^[26],对于高海拔或与本研究地区气候条件差异较大的地区,其果实品质与栽培海拔的相关性需要进一步的试验研究与验证。

参考文献

- [1] 李百茎. 苹果属(*Malus*)试管苗植株再生、茎尖超低温保存和脱毒技术研究[D]. 杨凌:西北农林科技大学,2016.
- [2] 周洲. 全球:苹果产量下降[J]. 中国果业信息,2019,36(1):39.
- [3] 中华人民共和国国家统计局. 中国统计年鉴[M]. 北京:中国统计出版社,2020.
- [4] 陈亚东. 我国苹果产业数据资源建设与整合研究[D]. 北京:中国农业科学院,2016.
- [5] Awad M A, Wagenmakers P S, Jager A D, et al. Effects of light on flavonoid and chlorogenic acid levels in the skin of 'Jonagold' apples[J]. *Scientia Horticulture*,2001,88(4):289-298.
- [6] Bertone, E, Venturello A, Leardi R, et al. Prediction of the optimum harvest time of "Scarlet" apples using DR- UV- Vis and NIR spectroscopy[J]. *Postharvest Biology and Technology*,2012(69):15-23.
- [7] 孙小诺,刘悦,王蓉蓉,等. 对河北省苹果品质与气象条件关系的分析[J]. *现代农业研究*,2019(2):33-34.
- [8] 顾雨非. 苹果新品种'瑞阳'、'瑞雪'在不同区域果实主要营养成分的差异分析[D]. 杨凌:西北农林科技大学,2018.
- [9] 张强. '富士'苹果果实品质与土壤养分和气象因子关系的研究[D]. 北京:中国农业大学,2018.
- [10] Ornelas-Paz J J, Quintana-Gallegos B M, Escalante-Minakata P, et al. Relationship between the firmness of Golden Delicious apples and the physicochemical characteristics of the fruits and their pectin during development and ripening[J]. *Journal of Food Science and Technology*,2018,55(1):33-41.
- [11] 贾军平,温有福,陈鹏,等. '红将军'苹果在甘肃静宁高海拔山地的表现及省力化栽培技术[J]. *中国果树*,2016(4):85-89.
- [12] 金高明,朱志花,董铁,等. 静宁县不同海拔梯度'富士'苹果光合生

- 理的比较研究[J]. 甘肃农业大学学报, 2016, 51(3): 49-54.
- [13] 金高明. 黄土高原不同海拔高度的富士苹果光合特性及生理效应的比较研究[D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2015.
- [14] 朱丹实, 李慧, 曹雪慧, 等. 质构仪器分析在生鲜食品品质评价中的研究进展[J]. 食品科学, 2014, 35(7): 264-269.
- [15] 刘亚平. 采前喷布壳聚糖处理和采后适度失水处理对红地球葡萄保鲜效应研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2012.
- [16] 邓钊. 柑桔省力化疏果和促进果实膨大技术研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2018.
- [17] 刘莉. 黄桃罐头感官品质评价研究[D]. 天津: 天津科技大学, 2015.
- [18] 高海生, 贾艳茹, 魏建梅, 等. 用物性分析仪检测鸭梨和京白梨果实采后质地的变化[J]. 园艺学报, 2012, 39(7): 1359-1364.
- [19] 杨玲, 康国栋, 王强, 等. TPA 试验测试苹果整果质地的研究[J]. 中国果树, 2014(4): 19-23.
- [20] 杨玲, 丛佩华, 王强, 等. 不同苹果品种在贮藏过程中果实质构的变化[J]. 果树学报, 2016, 33(11): 1439-1446.
- [21] Wertheim S J, Wagenmakers P S, Bootsma J H, et al. Orchard systems for apple and pear: conditions for success[J]. *Acta Horticulturae*, 2001, 557: 209-227.
- [22] 孙文泰, 尹晓宁, 刘兴禄, 等. 不同海拔高度对“红富士”苹果果实品质的影响[J]. 北方园艺, 2013(6): 12-15.
- [23] 曹永华, 金高明, 刘兴禄, 等. 不同海拔红富士苹果叶片生理及果实品质的研究[J]. 西北农业学报, 2016, 25(12): 1821-1828.
- [24] 罗文文. 不同生境富士苹果叶片和果实品质差异及其与环境因子关系研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2014.
- [25] 师生波, 李惠梅, 王学英, 等. 青藏高原几种典型高山植物的光合特性比较[J]. 植物生态学报, 2006(1): 40-46.
- [26] 刘志容, 张光伦, 冯绍玉, 等. 不同海拔高度光质分布与金冠苹果果实品质的相关性研究[J]. 北方园艺, 2009(7): 25-28.