

## 摘要

土壤肥力代表土壤的综合产力，是土壤质量评价的关键指标。近年来我国草莓产业发展十分迅速，种植面积及产量增加了 50%以上。我国山东、辽宁、河北、浙江等省为草莓的主要种植区，其中辽宁丹东东港地区，水、土、气候较为适合草莓生长，其草莓园土壤质量特征更值得进一步深入研究。红颜草莓（*Fragaria ananassa Duch.*）作为辽宁省的草莓主栽品种，具有极高的食用价值和经济价值。为深入了解草莓园土壤养分状况及其对草莓果实品质的影响，探索影响草莓果实品质的关键土壤因子，以丹东市 30 个草莓园中采集的草莓果实及草莓园表层（0~20 cm）土壤为研究对象，本溪市和沈阳市 10 个草莓园作为对照，对研究区 40 个草莓园的 14 种土壤理化性质和土壤营养成分指标、23 个草莓植株和果实指标进行调查。通过主成分分析和聚类分析，对草莓的品质进行深入探究，比较三个地区草莓果实品质差异；分析草莓园土壤营养元素及微量元素含量特征，进行土壤质量评价，比较三个地区草莓园土壤养分差异；分析土壤因子与草莓品质的相关性。旨在了解草莓园土壤质量及其对草莓品质的影响，确定影响果实品质的关键土壤因子，为草莓园科学合理的施肥，从而有效提升草莓果实品质提供理论依据。研究表明：

1. 根据草莓果实外观与果实营养成分指标分析各个草莓园草莓果实品质。不同草莓园草莓果实各指标变异系数为 4.67%~56.02%，各指标分化明显。主成分分析指标权重和聚类分析一致将影响草莓果实综合得分的关键指标依次概括为单果重、总甜度、可溶性固形物、甜酸比等，据此草莓指标聚为 6 类，筛选出 18 个草莓果实品质优异的草莓园。草莓品质相关性分析表明草莓植株指标与草莓果实外观指标之间相互促进，这些指标影响风味物质，抑制草莓果实抗氧化物质，草莓果实中的营养物质之间也存在着相互促进的关系。

2. 根据土壤理化性质分析研究区草莓园土壤质量。不同草莓园土壤各指标变异系数为 7.29%~76.69%，各指标分化明显。研究区土壤均为微酸性或中性土壤，

土壤饱和含水率偏高，机械组成以粗砂为主，97.5%草莓园有机质含量处于Ⅲ级以上标准；82%的草莓园碱解氮含量达到Ⅰ级标准；95%的草莓园速效磷含量达到Ⅰ级标准；90%的草莓园速效钾含量达到Ⅰ级标准；85%草莓园交换性镁含量处于Ⅱ级以上标准；有效硼、交换性钙含量分化明显。主成分分析表明有机质、碱解氮、速效磷、速效钾等是影响土壤质量最主要的因素。相关性分析结果显示土壤理化性质互相关联；土壤养分及微量元素存在促进关系。

3. 研究区草莓园土壤因子与草莓品质间具有一定的相关性。草莓园利于提高草莓风味的土壤指标为碱解氮、速效磷、速效钾、总钾、有效硼；有利于提高草莓外观品质的土壤指标为有机质、交换性钙和交换性镁。综合得出影响草莓品质的土壤指标为粗砂占比、有机质、pH、总钾、碱解氮、速效磷、速效钾、交换性钙、交换性镁、有效硼，其适宜的含量范围依次为 62.67~81.97%、2.68~3.51%、5.38~6.84、14.12~17.74  $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、265.89~510.04  $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、75.62~180.93  $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、288.00~364.87  $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、1238.34~1927.24  $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、330.56~729.10  $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、1.57~4.60  $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ，低于以上最低阈值的建议施加相应肥料。碱解氮、速效磷、速效钾的最优配比为 3:1:2.6。

**关键词：**草莓，果实品质，土壤质量，相关性分析，草莓园施肥

# **Characteristics of Soil Quality in Strawberry Orchards in Dandong Area and Its Relationship with Strawberry Quality**

## **Abstract**

Soil fertility represents the comprehensive yield of soil and is a key indicator for soil quality evaluation. In recent years, strawberry industry in our country has developed very fast. The planting area and production have increased by more than 50%. China's Shandong, Liaoning, Hebei, Zhejiang and other provinces for the main planting areas of strawberries, of which Liaoning Dandong Donggang area, water, soil, climate is more suitable for the growth of strawberries, its strawberry garden soil quality characteristics are more worthy of further in-depth study. Red-colored Strawberry (*Fragaria × ananassa Duch.*), as the main strawberry cultivar in Liaoning Province, has a very high food value and economic value. In order to gain an in-depth understanding of the soil nutrient status of strawberry orchards and its impact on strawberry fruit quality, and to explore the key soil factors affecting the quality of strawberry fruits, strawberry fruits collected from 30 strawberry gardens in Dandong City and the top layer (0-20 cm) of soil in the strawberry gardens were used as study subjects, and 10 strawberry gardens in Benxi City and Shenyang City were used as controls, and 14 indicators of soil physicochemical properties and soil nutrients were investigated for the 40 strawberry orchards in the study area, 23 strawberry plant and fruit trait indicators were investigated. Through principal component analysis and cluster analysis, the quality of strawberries was investigated in depth, and the differences in strawberry fruit quality among the three regions were compared. Analyze the characteristics of soil nutrient and trace element contents in strawberry orchards, evaluate soil quality, and compare the differences in soil nutrients among strawberry orchards in three regions. Analyze the correlation between soil factors and strawberry quality. The purpose of this study is to understand the soil quality of strawberry gardens and its influence on strawberry quality, to determine the key soil factors affecting fruit quality, and to provide theoretical basis for scientific and reasonable fertilization in strawberry gardens, so as to effectively improve the quality of strawberry fruits. The results of the study showed that:

1. Strawberry fruit quality in each strawberry orchard was analyzed according to strawberry fruit appearance and fruit nutrient indexes. The coefficients of variation of each index of strawberry fruit in different strawberry orchards ranged from 4.67%~56.02%, and the differentiation of each index was obvious. The weights of the indicators of principal component analysis and cluster analysis consistently summarized the key indicators affecting the comprehensive score of strawberry fruits as single fruit weight, total sweetness, soluble solids, sweet-sour ratio, etc. Accordingly, strawberry index were clustered into 6 classes, and 18 strawberry orchards with excellent strawberry fruit quality were also screened out. Strawberry plant traits and strawberry fruit appearance traits promoted each other, and these traits affected flavor substances and suppressed strawberry fruit antioxidant substances. In addition, there was a mutually reinforcing relationship between nutrients in strawberry fruit.

2. The soil quality of strawberry orchards in the study area was analyzed according to soil physical and chemical properties. The coefficients of variation of different strawberry orchard soils ranged from 7.29%~76.69%, and the differentiation of the indicators was obvious. The soils in the study area were all slightly acidic or neutral, with high Saturated water content, and the Mechanical composition was dominated by coarse sand. 97.5% of the strawberry gardens had an Organic matter content of III or above; 82% of the strawberry gardens had an Alkaline-N content of I; 95% of the strawberry gardens had a Olsen-P content of I; 90% of the strawberry gardens had an Available-K content of I; and 85% of the strawberry gardens had an Exchanged magnesium content of II or above; The Effective boron and Exchangeable calcium contents were obviously differentiated. The principal component analysis showed that Organic matter, Alkaline-N, Olsen-P, Available-K, etc, were the most important factors affecting the soil quality, and 21 strawberry gardens with excellent soil quality were selected accordingly. The results of correlation analysis showed that soil physicochemical properties were interrelated; soil nutrients and micronutrients had a promoting relationship.

3. Correlation between soil factors and strawberry quality in strawberry gardens in the study area: soil indicators favorable for improving strawberry flavor in strawberry gardens were Alkaline-N, Olsen-P, Available-K, Total-K, and Effective B; and soil indicators favorable for improving the appearance quality of strawberries were Organic matter, Exchanged calcium, Exchanged magnesium. The soil indicators affecting

strawberry quality were summarized as organic matter, pH, Total-K, Alkaline-N, Olsen-P, Available-K, Effective B, Exchangeable calcium, magnesium, and Coarse sand percentage. Their appropriate ranges are 2.68~3.51%、 5.38~6.84、 14.12~17.74 g·kg<sup>-1</sup>、 265.89~510.04 mg·kg<sup>-1</sup>、 75.62~180.93 mg·kg<sup>-1</sup>、 288.00~364.87 mg·kg<sup>-1</sup>、 1.57~4.60 mg·kg<sup>-1</sup>、 1238.34~1927.24 mg·kg<sup>-1</sup>、 330.56~729.10 mg·kg<sup>-1</sup>、 62.67~81.97%. Below these minimum thresholds it is recommended that the appropriate fertilizer be applied. The optimum ratio of Alkaline-N, Olsen-P, Available-K was 3:1:2.6.

**Keywords: strawberry, fruit quality, soil quality, correlation analysis, fertilizing strawberry orchards**



# 目录

摘要.....	I
Abstract.....	III
第 1 章 绪论.....	1
1.1 研究背景与意义.....	1
1.1.1 研究背景.....	1
1.1.2 研究意义.....	2
1.2 国内外研究进展.....	2
1.2.1 草莓品质研究进展.....	2
1.2.2 种植草莓土壤研究进展.....	6
1.3 辽宁省土壤养分调查.....	8
1.4 研究内容和技术路线.....	9
1.4.1 研究内容.....	9
1.4.2 技术路线.....	9
1.4.3 创新点.....	10
第 2 章 材料与方法.....	11
2.1 研究区概况.....	11
2.1.1 土壤地貌情况.....	11
2.1.2 水文情况.....	11
2.1.3 气候情况.....	11
2.1.4 草莓产业情况.....	12
2.2 实验材料及方法.....	12
2.2.1 样品采集与处理.....	12
2.2.2 草莓样品分析方法.....	14
2.2.3 土壤样品分析方法.....	15

2.2.4	草莓品质评价方法 .....	15
2.2.5	土壤质量评价标准和方法 .....	16
2.2.6	采样地施肥情况调查 .....	16
2.2.7	数据处理与分析 .....	16
第 3 章	研究区域草莓品质状况 .....	17
3.1	研究区域总体草莓品质信息 .....	17
3.1.1	植株指标 .....	17
3.1.2	果实外观指标 .....	19
3.1.3	果实营养指标 .....	20
3.1.4	果实风味指标 .....	22
3.1.5	果实糖组分情况 .....	23
3.2	果实品质指标的变异分析 .....	24
3.3	草莓果实品质指标主成分分析 .....	25
3.4	草莓果实品质指标聚类分析 .....	28
3.5	讨论 .....	29
3.6	小结 .....	30
第 4 章	研究区域土壤质量状况 .....	33
4.1	研究区草莓园总体土壤质量信息 .....	33
4.1.1	土壤理化性质 .....	33
4.1.2	土壤营养元素 .....	35
4.1.3	土壤微量元素 .....	36
4.1.4	土壤机械组成 .....	37
4.1.5	土壤质量指标的变异分析 .....	38
4.2	研究区土壤养分评价 .....	39
4.2.1	土壤 pH 值 .....	39
4.2.2	土壤有机质及大量养分含量 .....	40
4.2.3	土壤微量元素含量 .....	41
4.3	土壤指标主成分分析 .....	42



4.4 讨论.....	44
4.5 小结.....	45
第 5 章 研究区域土壤与草莓指标的相关性分析.....	47
5.1 草莓品质指标相关性.....	47
5.2 土壤指标相关性.....	49
5.3 土壤质量指标与草莓品质指标的相关性.....	50
5.4 影响草莓品质的土壤指标.....	51
5.5 研究区施肥现状与建议.....	52
5.6 讨论.....	53
5.7 小结.....	56
第 6 章 结论与展望.....	59
6.1 结论.....	59
6.2 展望.....	60
参考文献.....	61
在学期间研究成果.....	67
致谢.....	69



# 第 1 章 绪论

## 1.1 研究背景与意义

### 1.1.1 研究背景

草莓 (*Fragaria × ananassa Duch.*) 是蔷薇科草莓属多年生草本植物, 又名洋莓、凤阳草莓等。具有较高的营养、药用和生态价值。草莓上市较早, 被称为“早春第一果”<sup>[1]</sup>。新鲜草莓因其独特的红色、多汁的质地、独特的香气和甜美的果味而受到人们的喜爱。草莓果实含有较高的糖类营养物质、各类维生素以及钙、铁等人体必需的矿物元素<sup>[2]</sup>, 可清凉止渴、抗炎、抗氧化、健胃消食, 具有一定的医疗价值。

世界上草莓属植物约 50 个种, 主要分布在亚洲、非洲和欧洲, 约在北纬 30°~60°之间<sup>[3]</sup>, 美洲大陆的弗吉尼亚草莓和智利草莓出现较早, 现有的草莓品种大多来源于二者杂交产生的后代, 以及这些杂交产生的新品种与其亲本之间的再次杂交<sup>[4]</sup>。其中我国主要栽培的草莓品种大多来自欧美和日本, 如从欧美引进的甜查理和全明星等; 从日本引进的红颜和章姬等。近年来我国草莓育种发展迅速, 宁玉草莓、白雪公主草莓等国产新品种逐渐进入大众视线<sup>[5]</sup>。

中国草莓产业在 2009~2018 发展十分迅速, 种植面积及产量增加了 50%以上。我国山东、辽宁、河北、浙江等省为草莓的主要种植区<sup>[6]</sup>, 其中辽宁各地都有草莓种植基地, 尤其是丹东地区, 水、土、气候较为适合草莓生长。日本的章姬草莓甜美且高产、平均单果重 40 g, 但果实较为绵软, 而幸香草莓果实坚硬、果肉致密、耐运输、平均单果重 20 g, 但酸味明显, 1994 年静冈县农业研究人员尝试将二者杂交, 产生了高糖高酸, 硬度适中, 便于储运、早熟果大的红颜草莓。在众多红颜草莓中, 有一部分已经历了漫长的海上旅程, 抵达了我国丹东东港地区<sup>[7]</sup>。在 90 年代初, 东港地区主要以家庭为单位进行草莓种植, 生产规模相对较小。然而, 随着 1991 年东港市草莓研究所的成立, 这一局面得到了极大的改善。该研究

所不仅在种苗生产和种植管理方面发挥了积极的引领作用，还推动东港成为全国最大的草莓生产和出口基地，东港市所辖 15 个乡镇均有草莓生产<sup>[8]</sup>，赢得了“中国草莓第一县”的美誉。

东港地区土壤肥沃、气候适宜，给予草莓有利的生长条件。此外，东港地区在草莓栽培规模、技术水平和产量品质方面均走在全国前列，这也使得草莓产业成为辽宁省东港市的农业主导产业，为当地经济发展做出了重要贡献。2004 年，“东港草莓”成功注册为国家地理标志证明商标，后来“丹东草莓”更进一步，在 2017 年获得了农业部农产品地理标志产品的称号，这一殊荣再次证明了东港草莓在品质、口感和影响力方面的卓越表现。

### 1.1.2 研究意义

草莓营养丰富，富含膳食纤维和抗氧化物质，益于人体健康，深受人们喜爱。近几年，草莓种植面积不断扩大，尤其在丹东地区，其大规模的草莓种植为当地经济注入了新的活力，辽宁省人民政府数据显示丹东东港地区草莓种植规模达到了 20.1 万亩，吸引了近 10 万户农民投身于草莓的种植工作，草莓产业已成为当地农民的重要经济来源，其种植收入在农民人均收入中占据了超过 60% 的比重。然而，由于丹东草莓销往全国各地，运输距离较远，为了保证其新鲜度，常常需要提前采摘，这无疑会影响草莓的口感和品质。沈阳、本溪与丹东地理位置相近，气候条件相似，可以在这三个地区研究草莓品质和土壤质量的相关性。通过深入研究，可以更准确地了解草莓生长所需的土壤环境，从而优化种植条件，提升草莓的品质和口感。不仅有助于满足消费者的口味需求，提升草莓的市场竞争力，还能为东北地区的草莓扩繁提供科学依据。

## 1.2 国内外研究进展

### 1.2.1 草莓品质研究进展

草莓品质是评价草莓优劣的重要指标，评价草莓优劣需要从多个方面进行综合评估，一般包括四个方面：植株指标、果实的外观指标、风味指标和营养指标。

#### (1) 草莓植株指标

株高与茎粗是草莓植株生长态势和健壮程度的直观体现。当植株过于低矮时，

其果实的产量和品质都可能受到不利影响。相比之下，茎部粗壮的草莓植株在养分输送和果实发育方面更具优势，这有助于提升果实的品质。而且，茎粗的植株通常具有较强的抗病能力，能够保证较高的产量。适中的叶长和叶宽，对草莓植株进行光合作用至关重要。叶面积是衡量植株光合作用能力的一个重要指标，较大的叶面积意味着草莓植株能更高效地进行光合作用，制造更多养分促进果实发育，从而进一步提升果实的品质和产量<sup>[9]</sup>。

尽管较高的植株和较大的叶面积在一定程度上有利于草莓的生长和果实发育，但也可能带来一些潜在问题。过高的植株和过大的叶面积可能导致植株过于繁茂，影响了通风、光照，增加病虫害发生风险。在春季植株的呼吸作用变得旺盛，加速养分的消耗，可能导致植株出现徒长情况，影响根系的正常发育。使根系分布较浅，养分吸收不稳定，导致在植株生长过程中养分供应不足，可能出现落花落果、畸形果增多等现象<sup>[10]</sup>。

施用生长抑制剂和叶面喷施硅酸钠对等抑制草莓植株徒长，增加植株茎粗，使得草莓外观指标、品质指标和产量指标显著提升<sup>[11]</sup>，草莓果实的糖酸含量、维生素 C 含量、糖酸比等显著增加，优化草莓风味<sup>[12]</sup>。因此，在草莓栽培过程中，需要根据品种特性和环境条件来合理调控草莓的株高、茎粗和叶面积，以达到优化草莓品质的目的。

## (2) 草莓果实的外观指标

草莓果实的单果重、横纵径和果形指数是相互关联的品质指标。单果重是评估草莓产量和品质的重要指标之一。单果重大的草莓的产量高、品质好，但并不是单果重越大越好，过大的单果重可能导致草莓口感下降<sup>[13]</sup>。果形指数是草莓果实横纵径的比值，是衡量草莓形状规整程度的关键指标，通常来说，横径较大、纵径较小的草莓果实更受人们喜爱。果形指数越接近 1，说明草莓的形状越规整，果实品质和市场价值越高。不同品种草莓果实的外观指标差别较大，研究分析红颜、章姬、桃熏、圣诞红等草莓品种的果实外观指标发现红颜和圣诞红草莓果实明显相较其他品种大，呈圆锥形，同时各外观指标间相互影响<sup>[14]</sup>。

此外，草莓果实的外观指标与营养物质含量也有一定关系。较大的单果重通常意味着草莓果实中积累了更多的营养物质。圆形或近圆形的草莓果实，往往具

有更多的细胞数和更均匀的营养物质分配。使得草莓果实中的糖酸组分等营养成分更高，从而显著提升了果实的整体质量和口感<sup>[15]</sup>，但株高、冠径、叶长和部分光合指标变化不显著。果实形状差异明显的秋姬和手指草莓表明果实单果重和表面积变化，导致细胞长度变化，从而显著影响果实形状的变化<sup>[16]</sup>。

### (3) 草莓果实的风味指标

草莓果实中糖、酸的积累以及组成影响着草莓果实风味，这两大要素共同构成了果实风味的基石<sup>[17]</sup>。果实中糖和酸的比例直接影响草莓口味，糖酸比偏高果实就偏甜，反之偏酸，且不同类型作物果实适宜糖酸比不同，对于草莓而言糖酸比在 11-12 以上最佳<sup>[18]</sup>。

除了糖和酸的比例，糖和酸的组成也与甜酸风味密切相关<sup>[19]</sup>。多数作物果实的可溶性糖浓度是果实甜度的直接决定因素，间接影响加工产品的特性，例如葡萄酒的酒精含量<sup>[20]</sup>。分析草莓果实品质对人感官的影响，发现甜度、风味和质地喜好分别取决于糖浓度、特定挥发性化合物和果实硬度，其中受甜度的影响更大。

在草莓果实生长发育过程中，由光合作用产生蔗糖，水解成葡萄糖和果糖，三者草莓发育过程中逐渐积累，最终构成成熟草莓的主要可溶性糖<sup>[21]</sup>。研究同一草莓园 6 个品种草莓糖组分，发现其可溶性糖由果糖和葡萄糖构成，其中 6 个品种草莓均为果糖的占比大，在果实生长发育过程中随时间增加而增加<sup>[22]</sup>。草莓果实的口感和风味受糖种类及其含量差异的影响显著。在多数草莓品种中，可溶性糖主要由蔗糖、葡萄糖和果糖构成，而酸组分则以柠檬酸和苹果酸为主。不同品种的草莓在葡萄糖与果糖的含量上差异并不显著，柠檬酸占总可酸度的 62.39%~82.73%，总酸度含量在 0.25%~0.8%之间<sup>[23]</sup>。也有研究表明有些品种草莓蔗糖含量可达 50%，但是对于酸的种类研究均一致认为柠檬酸为草莓总酸的主要成分<sup>[24]</sup>。也有草莓品种以葡萄糖为主，大约是果糖和蔗糖浓度的两倍，且成熟浆果中的总酸浓度比总糖浓度低 5 倍，柠檬酸约占总酸含量的 2/3<sup>[25]</sup>。

所以，不同品种草莓果实成熟期的可溶性糖占比最多种类和含量均有不同，大多以葡萄糖、果糖和蔗糖为主，且均随果实成熟而增加，果实中的可溶性糖含量一般介于 6%~12%。不同品种草莓果实成熟期的总酸度占比最多的均为柠檬酸，但是不同品种柠檬酸含量有差别。不同品种草莓的糖酸组分差异可能会受到多种

因素的影响，包括种植环境、气候条件、土壤质量、季节变化等。因此，在评估同一品种草莓的糖酸组分差异时，应考虑这些因素的综合作用。总的来说，不同品种草莓的糖酸组分存在差异，这可能会影响到它们的口感和风味。而对于同一品种的糖酸组分差异可能是因为生长环境所致。

#### (4) 草莓果实的营养指标

① 可溶性固形物。可溶性固形物是指溶解在水中的糖、酸和维生素等物质。在果蔬生产中，可溶性固形物可以反映出水果的营养成分及成熟度程度，也能作为衡量果品成熟与否的一项指标。通常，当果实中的可溶性固形物浓度增加时，其口感和品质都会相应地变得更加甜美<sup>[26]</sup>。除了可溶性糖的含量外，可溶性固形物的含量也是评估草莓甜度的一个重要标准。这两者之间存在着显著的关联性，随着可溶性糖含量的逐渐增加，可溶性固形物的含量也相应上升。可溶性糖占可溶性固形物的 80%~90%，在草莓成熟的过程中，随着时间的推移，可溶性固形物的含量会逐步上升，而在草莓成熟时，其可溶性固形物含量从 5%~18%不等，取决于品种基因型和生长环境，中国草莓品种可溶性固形物大多为 8%~10%<sup>[27]</sup>，但是由于环境因素的影响，相同的品种在可溶性固形物含量上也存在显著的不同。在不同的果实品种中，可溶性固形物的浓度存在显著的差异，红颜草莓的可溶性固形物含量显著高于香野、章姬和圣诞红，红颜和香野的固酸比显著高于章姬和圣诞红<sup>[28]</sup>。章姬草莓的可溶性固形物含量通常在 11%~14%之间，红颜草莓的可溶性固形物含量大约在 13%左右，属于可溶性固形物含量较高的品种<sup>[29]</sup>。

② 维生素 C。草莓果实富含维生素 C，100 g 鲜果维生素 C 含量从 20~120 mg 不等，每 100 克草莓中含有约 54 mg 的维生素 C<sup>[29]</sup>，比柑橘类果实的含量还要高。维生素 C 作为一种关键的抗氧化成分，有助于人体对抗自由基的伤害，进而有助于减缓衰老过程并维持皮肤的光泽与弹性。在相同的草莓品种中，随着成熟度的提高，其维生素 C 的含量也相应增加。Mari Hakala<sup>[30]</sup>等人研究四种草莓的维生素 C，其平均浓度从 32.4~84.7 mg·100g<sup>-1</sup> 不等。

③ 总酚。草莓抗氧化性与其总酚含量显著相关，草莓果实含有丰富的多酚，具有较强的抗氧化能力。草莓总酚含量为 0.47~2.77 mg·g<sup>-1</sup>，是苹果、柑橘、猕猴桃、桃等水果的 2~11 倍。在草莓粉红色阶段相对红色阶段总酚含量含量较高。虽

然成熟的草莓果实味道更好，但在粉红色阶段抗氧化剂含量和活性更高<sup>[31]</sup>。草莓果实中的酚类化合物以黄酮类化合物为代表；其次是水解单宁和酚酸，如没食子单宁、羟基苯甲酸等也是其重要的组成部分；而缩合单宁，尤其是原花青素，则占据次要地位<sup>[32]</sup>。草莓品种不同，总酚含量也不同。根据相关研究，甜查理、达赛莱克特和红颜的总酚含量相对较高，白色草莓与红色草莓果实总酚含量差距显著，红色草莓总酚含量大<sup>[33]</sup>。然而，对于同种草莓来说果实的总酚含量可能受到品种、生长环境、成熟度等多种因素的影响。

④ 花青素。草莓的颜色来自花青素的积累，花青素随着果实成熟而增加。许多研究已经测定了草莓总花青素含量在  $15\sim 600\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ，天竺葵素 3-O-葡萄糖苷为草莓提供鲜红色，而花青素 3-O-葡萄糖苷提供深红色。因此，随着时间的推移，消费者对鲜红色的偏好间接导致了以天竺葵素 3-O-葡萄糖苷为主要花青素形式的草莓品种的选择，无论遗传和环境因素如何，都占总花青素的 70~90%<sup>[34]</sup>。一般来说，颜色较深的草莓品种如章姬和红颜等含有较高的花青素。另外，草莓果实的不同部位花青素含量也有差异，果实的颜色越深，其花青素含量也越高<sup>[35]</sup>。

### 1.2.2 种植草莓土壤研究进展

#### (1) 土壤理化性质对草莓品质影响研究

草莓生长对土壤容重、机械组成和饱和含水率有一定要求。土壤机械组成会影响土壤的通透性和保水能力，进而影响土壤容重和饱和含水率，一般来说，土壤容重越小，机械组成越细，颗粒间的孔隙就越大，饱和含水率就越高。了解土壤容重、机械组成和饱和含水率有助于更好地理解土壤的水分状况和养分供应能力，对于农业生产有重要意义<sup>[36]</sup>。土壤水分管理是草莓种植中非常重要的因素，直接影响草莓的生长和产量。对于草莓生长而言，理想的土壤容重通常在  $1.0\sim 1.5\text{ g}\cdot\text{cm}^{-2}$  之间、土壤机械组成应该具有适中的粗砂比例。如果土壤容重过高、粗砂占比低，可能导致植株发育不良、产量下降。反之土壤过于疏松，不利于草莓植株的固定和水分保持。草莓水分胁迫对地上部鲜重和干重、根系鲜重和干重以及相对含水率、膜稳定性指数和色素含量等生理指标产生负面影响<sup>[37]</sup>，适宜的土壤水分可以促进草莓生长，生长得更快更高，适当的土壤墒情可以保持土壤养分，防止土壤流失，从而保持土壤肥力。此外，适宜的土壤水分可以减少草莓空心果实<sup>[38]</sup>。



草莓生长要求土壤 pH 值在 4.6~6.5 之间, pH<4 或 pH>8.5 时, 草莓的产量和果实质量受到严重影响, 草莓的根系生长会变缓慢, 地上部分就会出现生长阻碍<sup>[39]</sup>。张利亚<sup>[40]</sup>等施用土壤调节剂调节盐碱地, 创造适宜草莓生长的 pH 值, 草莓的产量和果实糖组分含量得到了显著提升, 这显示出草莓生长状况的优化。此外, 其他研究也指出, 土壤 pH 值对根系吸收水分和养分的能力具有显著影响, 进而影响到果实对营养元素的吸收, 这种影响对果实品质的提升起到了积极的促进作用。由此可见, 优化土壤 pH 值可能是提升草莓产量和品质的有效途径之一<sup>[41]</sup>。

土壤有机质, 作为土壤固相的核心组成部分, 不仅扮演着植物获取养分的主要角色, 更在优化土壤物理性质方面发挥着不可或缺的作用。通过激活微生物和土壤生物的活动, 它促进了土壤养分的分解过程, 进而增加土壤肥力。此外, 过往的研究还表明, 施用有机肥可以有效地改善土壤的微生态环境, 给予作物良好的土壤条件。施用有机肥料可提高土壤有机质含量并促进作物生长<sup>[42]</sup>。草莓土壤中的有机质含量在 2%~5% 左右为宜, 土壤中的有机质含量可以提高土壤的肥力和透气性, 有利于草莓的生长和发育。施用蚯蚓粪、鸡粪、牛粪等有机肥, 植株生长较高, 叶面积在不同处理间无差异, 草莓果实总可溶性糖、维生素 C、产量等明显增加<sup>[43]</sup>。同样来源于植物的液体有机肥料也增加了根长、茎粗、叶面积、单株产量、果实重量、果实 pH 值、可溶性固形物、总酸度、固酸比和植株养分含量<sup>[44]</sup>。

## (2) 土壤营养元素对草莓品质影响研究

钾和氮是对作物产量和果实品质影响最大的营养物质, 磷次之<sup>[45]</sup>。在沙质土壤条件下, 土壤速效钾的含量是提高草莓果实产量和品质的主要限制因素。增施钾肥可显著提高草莓果实中可溶性糖、总酸度、维生素 C 等含量<sup>[46]</sup>。当土壤中缺乏钾元素时, 草莓植株的叶面会出现失绿、卷曲和皱缩的现象, 叶尖和边缘甚至会发棕坏死。另一方面, 如果土壤氮素超标, 草莓植株可能会过度生长叶片和茎干, 而果实生长和发育可能受到抑制, 这时可以适当增加钾元素的含量, 以防止氮肥过量导致的徒长现象。通过施加钾肥, 草莓植株叶面积明显变大, 同时果实的单果重也会有一定程度的增长<sup>[47]</sup>。但土壤钾肥含量过高可能会使草莓果实总酸度升高<sup>[48]</sup>。在适当的范围内, 增加氮肥的施用量可以显著提升草莓品质的各项评价指标。然而, 当氮肥施用过量时, 草莓的含糖量和固酸比会受到显著影响, 出

现降低的趋势，从而降低草莓的整体品质。这表明，在追求草莓产量增长的同时，也需要合理控制钾肥和氮肥的施用量，以确保草莓的品质得到保障。此外，磷在草莓植株光合作用和果实可溶性糖的形成、营养物质的转化中起着不可或缺的作用<sup>[49]</sup>。较低的磷含量对草莓的产量影响较小，但会增加果实总酸度，减少草莓果实中的可溶性糖含量、降低果实糖酸比，但均未达到显著水平，果实中维生素 C 含量显著降低<sup>[50]</sup>。杨肖芳<sup>[51]</sup>等在草莓果实膨大后配施氮、磷、钾肥发现，草莓果实糖组分含量及总酸度显著提高 14.04%~25.93%。

### (3) 不同土壤微量元素对草莓品质影响研究

钙、镁、硼元素是草莓生长必需的微量元素之一，钙元素对草莓的根系生长和其他营养元素的吸收起着重要的促进作用。若草莓缺乏钙元素，其果实可能会发生变形、变软、变小等问题，导致整体品质下降。另一方面，镁元素在草莓体内代谢和蛋白质合成中扮演着关键角色。草莓若缺乏镁元素，其叶片可能会黄化，果实发育不良。此外，硼元素对草莓生长具有不可或缺的重要性。硼元素有助于花芽的分化，增加花芽数量，从而提高草莓的产量。这些元素对草莓的生长和发育都至关重要，影响产量和品质。硼在草莓坐果中起着举足轻重的作用，施用硫酸锌和硼酸可显著提高草莓果实花青素含量<sup>[52]</sup>。叶面喷施钙、镁、硼，草莓果实产量、单果重、可溶性固形物、维生素 C 等物质的含量显著提高<sup>[53]</sup>，对草莓叶片叶绿素含量也有影响<sup>[54]</sup>。雷伟伟<sup>[55]</sup>等发现增施钙肥，草莓的总产量、单株产量、单果重显著提高了 17.6%、7.9%、8.9%，草莓果实的硬度、糖度和糖酸比显著提高，草莓风味和品质均得到提升。

## 1.3 辽宁省土壤养分调查

辽宁省果园 pH 集中在 4.00~8.90、机质含量集中在 0.17~4.54%、总氮含量为 0.06~1.33 g·kg<sup>-1</sup>、速效磷含量为 0~311.40 mg·kg<sup>-1</sup>、速效钾含量为 37.50~1005.00 mg·kg<sup>-1</sup>、有效硼含量为 0.01~1.77 mg·kg<sup>-1</sup>、交换性钙含量为 452.50~5170.00 mg·kg<sup>-1</sup>、交换性镁含量为 72.50~1662.50 mg·kg<sup>-1</sup><sup>[56]</sup>。丹东市耕地土壤碱解氮含量为 43.00~382.00 mg·kg<sup>-1</sup><sup>[57]</sup>。

## 1.4 研究内容和技术路线

### 1.4.1 研究内容

土壤是植物从外界吸收营养元素的主要来源，土壤不同的营养状况对草莓品质指标均有不同地影响。有机质、氮、磷、钾等营养元素以及微量元素对草莓植株指标、果实外观指标、果实风味指标和果实营养指标提升均有良好效果。国内外学者在草莓园土壤质量、果实品质及二者间关系方面做了大量工作，但以往研究大多只考察了个别土壤指标对作物产量和某几个特定的品质指标的影响，并没有综合考察土壤质量对草莓果实品质的整体影响，尤其是对于红颜草莓的相关研究相对较少。本研究以丹东地区 30 个草莓园为研究对象，沈阳地区 7 个、本溪地区 3 个草莓园作为对照，对 40 个草莓园的 14 种土壤指标、5 个植株指标、5 个果实外观指标和 13 个果实风味和营养指标进行调查，分析草莓果实品质、草莓园土壤理化性质、主要营养元素及微量元素含量特征，以及对土壤指标与草莓品质进行相关性分析等。研究内容如下：

(1) 探究草莓园草莓果实各指标状况，对不同草莓园草莓果实品质指标进行主成分分析、聚类分析，比较不同草莓园草莓果实品质；

(2) 分析草莓园土壤理化性质情况以及营养元素和微量元素含量特征，进行土壤质量评价，比较不同草莓园土壤质量；

(3) 分析土壤指标与草莓品质指标的相关性，旨在了解草莓园土壤状况及对果实品质的影响，确定影响果实品质的关键土壤指标，为草莓园合理施肥、提高果实品质提供理论依据。

### 1.4.2 技术路线

在整理了大量的相关文献、实地调研采样的前提下，在草莓园就地测量草莓植株指标；实验室分析草莓果实外观指标、风味指标、营养指标；以及土壤理化性质、营养元素及微量元素。然后，对草莓园土壤质量和草莓果实品质评价，并分析其中内在联系。技术路线如图 1.1：

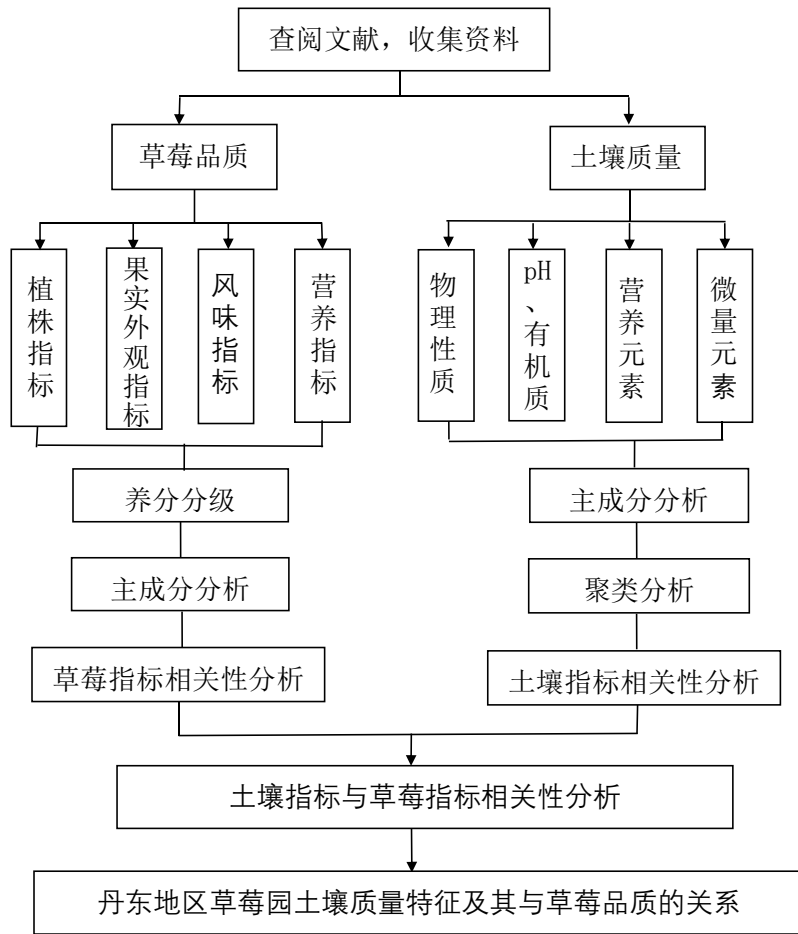


图 1.1 技术路线

Figure 1.1 Technology roadmap

### 1.4.3 创新点

- (1) 本文明确了影响红颜草莓果实外观与风味指标的关键土壤质量因子。
- (2) 根据草莓品质与土壤质量的相关性等，对三个地区草莓园施肥管理做出一定指导建议。

## 第 2 章 材料与amp;方法

### 2.1 研究区概况

丹东市得天独厚的生态条件，为优质草莓的生产和产量的提升创造了极为有利的条件。特别适合草莓种苗的繁殖和花芽分化。丹东市是中国难得的优质草莓生产基地，具有巨大的潜力和广阔的前景。

#### 2.1.1 土壤地貌情况

丹东地区是坐落于辽东长白山余脉的丘陵山区，海拔高度约 300~1000 m。盛产草莓的东港北部为丘陵区，南部为东西走向的沿海平原。据丹东市政府发文显示，丹东市的土壤类型分布广泛，其中以棕壤、草甸土和水稻土为主，其次是暗棕壤、盐土和沼泽土。在丹东市的大部分耕地中，以微酸性的棕壤土为主，这种土壤质地肥沃，富含多种营养成分。其 pH 值稳定在 5.3~6.3 之间，有机质含量维持在 2.2%~2.6% 的范围内，全氮含量更是超过了  $0.83 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。此外，速效磷和速效钾的含量分别超过了  $62.00 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  和  $94.00 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。这些优质的土壤条件为草莓的生长提供了得天独厚的环境。

#### 2.1.2 水文情况

丹东地区水资源丰富，拥有 1361 条长度超过 2 km 的河流。此外，该地区还建有 300 多处大小水库、水电站和灌区，以及超过 3000 km 的江河人工护岸。地表水资源量近 90 亿立方米，其中东港市占 12.11 亿立方米，不仅为丹东地区创造了宜人的小气候和高湿度环境，还有助于草莓的生长发育。值得一提的是，丹东地区的水源上游并未受到矿场和重金属污染，为草莓提供了优质的自然条件<sup>[58]</sup>。

#### 2.1.3 气候情况

丹东位于中纬度地带，深受西风带和温带气候影响。冬季以偏北风为主，夏季则以偏南风盛行。丹东的气候特色鲜明，其特点为湿润、降水丰富、光照充足，

属于暖温带季风型大陆性气候。该地区年平均气温维持在 6~9℃之间，全年超过 10℃的有效积温最高可达 3500℃。此外，丹东的年平均湿度为 60%，阳光充足，昼夜温差较大，这些条件对植物有机物质的合成和积累极为有利<sup>[58]</sup>。

#### 2.1.4 草莓产业情况

东港市草莓种植规模庞大，覆盖面积高达 20.1 万亩，吸引了近 10 万户农民积极投入草莓种植产业。草莓种植已成为当地农民的重要收入来源。为了进一步提升“东港草莓”的品牌影响力，东港市积极引导经营主体投入超过 500 万元用于品牌塑造，成功培育出百余个草莓企业品牌，进一步推动草莓产业的健康发展。通过构建“电商+合作社+园区+农户”的模式，东港市探索出了一种创新的农产品营销方式——“品牌赋能+电商营销”，使消费者能够直接通过互联网购买到农户种植的草莓。目前，东港市已有 6600 余户电商企业和个体工商户，开设电商网店超过 1.5 万家，其中电商销售在草莓鲜果销售中的占比达到了 70%。东港草莓产业已形成集种植、加工、销售、流通等多个环节于一体的完整产业链条，其中小部分用于本地鲜果销售或加工，而剩余的 90%则经过精心包装后销往国内各大城市，有效带动了交通物流、包装产品制造等相关产业的发展。

## 2.2 实验材料及方法

### 2.2.1 样品采集与处理

依据辽宁省草莓园的分布格局和生产规模，选取了种植 5~10 年有代表性的草莓园作为研究对象，红颜草莓样品取自丹东市 30 个、本溪 3 个、沈阳 7 个共 40 个草莓园，并以 1~40 编号，见图 2.1、表 2.1。2023 年 4~5 月按对角线采集草莓果实样品，并根据草莓园的平面形状做适宜调整。在每个采样草莓园定点选择 5 个采样点，每棚采集约 500 g 果实（约 20~40 个）。样品做好标记，清理表面杂物，擦干水分，-80℃冷冻保存。

土壤样品与果实采集点位对应，40 个草莓园土壤类型均为棕壤。除去石子、枝叶等杂质，用四分法采集 0~20 cm 土层土壤样品，将采集的同一个草莓园的土壤样品混合均匀封装于同一个自封袋内并编号，将土样带回实验室，风干、过 2 mm 筛以备用。另外在采样中心点用环刀采集原状土壤并用保鲜膜密封用于测定土壤

容重和饱和含水率等指标。

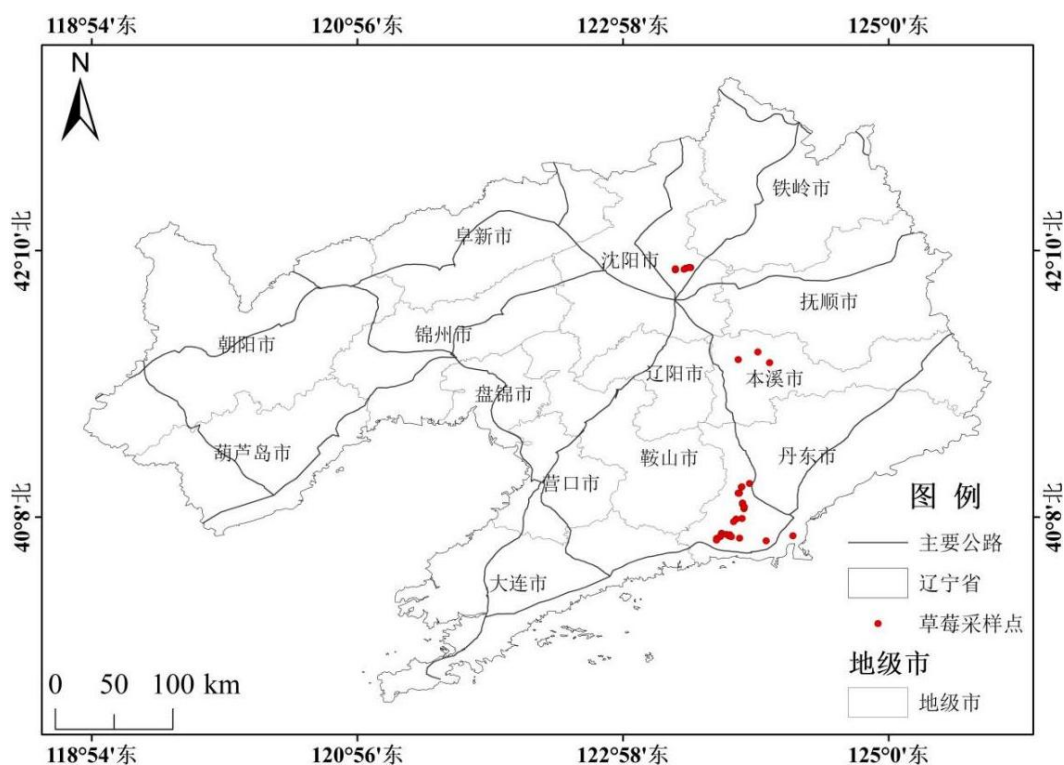


图 2.1 草莓与土壤采样点分布图

Figure 2.1 Distribution of strawberry and soil sampling points

表 2.1 草莓园采样地点

Table 2.1 Sampling locations in strawberry orchards

序号	草莓园地点	序号	草莓园地点
1	丹东宝山镇(一)	21	丹东赵家岭村(二)
2	丹东宝山镇(二)	22	丹东黄土坎镇
3	丹东宝山镇(三)	23	丹东尹黄线
4	丹东宝山镇(四)	24	丹东五龙村
5	丹东宝山镇(五)	25	丹东大季家堡
6	丹东河北沟	26	丹东王家岗
7	丹东后营子	27	丹东三家子
8	丹东吴家村(一)	28	丹东马家岗
9	丹东吴家村(二)	29	丹东石龙线
10	丹东大獐猡村	30	丹东胖东
11	丹东赵家堡子	31	本溪莓香园
12	丹东高家村	32	本溪法台国吉
13	丹东樊家堡(一)	33	本溪乾庄
14	丹东樊家堡(二)	34	沈阳田鑫
15	丹东艾家山头	35	沈阳朱三
16	丹东西山根	36	沈阳新蔡线

(续表 2.1)

序号	草莓园地点	序号	草莓园地点
17	丹东老虎洞村	37	沈阳果约
18	丹东荒地村(一)	38	沈阳廉家
19	丹东荒地村(二)	39	沈阳小慧
20	丹东赵家岭村(一)	40	沈阳悠然

### 2.2.2 草莓样品分析方法

本研究分析草莓样品的各品质指标，并将草莓品质指标分为植株指标、果实外观指标、风味指标和营养指标。

#### (1) 草莓植株指标

株高：采样时每个草莓园随机选择 10 株，用直尺测量地表到大多数叶片的自然高度，取均值。

茎粗：采样时每个草莓园随机选择 10 株，用游标卡尺测量植株主干中部直径，取均值。

叶长和叶宽：采样时每个草莓园随机选择 10 株，用直尺测量中心叶向外第二片展平的功能叶长度，取其均值。

叶面积：以叶长×叶宽×0.73 计算其面积<sup>[59]</sup>。

#### (2) 草莓果实外观指标

单果重：采样时每个草莓园随机选取 10 个成熟果实，用电子天平测定。

果实横纵径：采样时每个草莓园随机选取 10 个成熟果实，用游标卡尺测量。

果型指数：纵径/横径计算得出。

#### (3) 草莓果实风味指标

总酸度：采用酸碱滴定法。

总糖：采用蒽酮-比色法。

蔗糖和果糖：采用间苯二酚比色法。

葡萄糖：采用酶法。

总甜度：果糖含量×1.75+蔗糖含量×1.00+葡萄糖含量×0.75 计算得出<sup>[61]</sup>。

糖酸比：总糖含量/总酸度。

甜酸比：总甜度/总酸度。



(4) 草莓果实营养指标

可溶性固形物：用爱拓 ATAGO PAL-1 手持折光仪测定<sup>[60]</sup>。

固酸比：可溶性固形物含量/总酸度。

维生素 C：采用 2,6-二氯酚氧化滴定法。

总酚：采用福林酚法。

花青素：采用 pH 示差法。

具体测定方法参照土壤农化分析、植物生理学实验技术和植物生理生化实验原理和技术<sup>[62-63]</sup>。

### 2.2.3 土壤样品分析方法

(1) 草莓园土壤理化性质

土壤容重、饱和含水率：采用环刀法。

pH：电极电位法。

机械组成：Malvern 公司 MASTERSIZER 激光粒度仪测定。

有机质：重铬酸钾-外加热-容量法。

(2) 草莓园土壤营养元素

速效磷：NaHCO<sub>3</sub> 浸提-钼锑抗比色法。

总磷：NaOH 熔融-钼锑抗比色法。

速效钾：CH<sub>3</sub>CO<sub>2</sub>NH<sub>4</sub> 浸提-火焰光度法。

总钾：NaOH 熔融-火焰光度法。

碱解氮、总氮：凯氏定氮法。

(3) 草莓园土壤微量元素

有效硼：甲亚胺比色法。

交换性钙、交换性镁：EDTA 滴定法

具体方法土壤质量指标分析参照土壤农化分析<sup>[62]</sup>一书。

### 2.2.4 草莓品质评价方法

对测试果实品质指标进行检测分析，试验数据进行统计其含量范围、平均值、标准差、变异系数等；利用单因素方差分析（ANOVA）法对草莓品质指标进行差异性分析；通过主成分分析、聚类分析对草莓果实品质进行评价，确定决定草莓

果实品质关键性指标；并比较三个地区草莓品质情况。

### 2.2.5 土壤质量评价标准和方法

采用全国第二次土壤普查标准<sup>[64]</sup>分析研究区的土壤指标情况，统计其含量范围、平均值、标准差、变异系数等；对草莓园土壤指标进行分级评价，分级标准参考孙寅虎<sup>[65]</sup>等和沈兰<sup>[66]</sup>等，利用 SPSS 数据处理系统进行差异显著性分析和主成分分析，确定决定草莓园土壤质量关键性指标。并比较三个地区草莓园土壤肥力状况。

### 2.2.6 采样地施肥情况调查

经过走访调查得出，研究区草莓的施肥方式主要采用根部滴灌技术。这种方法不仅提高了肥料的利用效率，还有助于草莓更好地吸收所需营养。采用生物、化学相结合的方式防治病虫害。在肥料的选择上，有机肥料因其天然、环保且富含多种营养成分而受到青睐，成为该区域草莓种植的主要肥料来源。草莓种植有机肥投入主要为鸡粪堆沤、牛粪、羊粪、牛猪粪、牛猪粪秸秆混合、牛鸡粪秸秆混合、羊鸡粪秸秆混合和牛羊鸡粪混合堆沤。其中牛粪透气性较好，猪粪肥效较好。

### 2.2.7 数据处理与分析

试验数据用 Excel 2019 进行整理、图表制作，使用 SPSS 26.0 进行差异显著性分析( $P < 0.05$ )、主成分分析，使用 Origin2022 进行相关性分析及绘图。其中：

聚类分析热图使用 Origin2022-Polar Heatmap with Dendrogram 绘制；

相关性分析热图使用 Origin2022-Correlation Polt 绘制。

## 第 3 章 研究区域草莓品质状况

草莓植株指标，如株高、茎粗、叶长、叶宽以及叶面积，反映草莓的生长状况和生理特征。株高和茎粗可以反映植株的生长速度和健壮程度，叶长、叶宽以及叶面积与影响植株的光合作用，进而影响果实的营养物质的积累。草莓果实外观指标，如单果重、横纵经、果型指数等，是评价草莓果实品质的直接标准。单果重反映果实的品质和产量，横纵经和果型指数反应果实形状。草莓的风味指标，如可溶性糖、总酸度、糖酸比、蔗糖、果葡萄糖、总甜度、甜酸比等，是评价草莓口感和风味的关键因素。决定了草莓的甜度、酸度和口感平衡。草莓的营养指标，如可溶性固形物、维生素 C、固酸比、总酚和花青素等，反映了草莓果实的营养价值和抗氧化能力。分析草莓品质指标的变异程度可以直观了解草莓果实的改良潜力，对草莓品质的提升有重要意义。主成分分析和聚类分析方法可以筛选出优质草莓园，得出草莓品质评价的关键指标，为构建草莓品质评价体系提供理论依据。

### 3.1 研究区域总体草莓品质信息

#### 3.1.1 植株指标

经过对 40 个草莓园的草莓植株指标进行测定，结果如表 3.1 所示。由表可知，研究区草莓植株在株高、茎粗、叶长、叶宽和叶面积方面存在一定的差异。株高为 16.62~39.22 cm、茎粗为 1.89~3.56 mm、叶长为 5.42~9.62 cm、叶宽为 4.58~7.8 cm、叶面积为 18.02~55.77 cm<sup>2</sup>。其均值分别为 27.82 cm、2.59 mm、7.62 cm、5.97 cm、34.31 cm<sup>2</sup>。4 号草莓园草莓植株株高最高，36 号最低；11 号草莓园草莓植株茎粗、叶长、叶宽、叶面积均最大，29 号草莓园草莓植株茎粗最小，40 号草莓园草莓植株叶长、叶宽、叶面积均最小。草莓园间叶面积差距最大，最大者是最小者的 3 倍多。

表 3.1 不同果园草莓植株指标情况

Table3.1 Index of strawberry plants in different orchards

代号	株高 /cm	茎粗 /mm	叶长 /cm	叶宽 /cm	叶面积/cm <sup>2</sup>
1	31.52±3.83 <sup>gfedcb</sup>	3.26±0.41 <sup>ba</sup>	8.23±0.97 <sup>gfedcba</sup>	6.63±1.12 <sup>ihgfedc</sup>	40.39
2	28.37±2.58 <sup>lkjihgfedcb</sup>	2.58±0.54 <sup>fedcb</sup>	7.62±0.51 <sup>kjihgfedcb</sup>	5.63±0.84 <sup>mlkjihg</sup>	31.53
3	30.53±3.97 <sup>hgfedcb</sup>	2.74±0.47 <sup>edcb</sup>	7.55±0.83 <sup>kjihgfedcb</sup>	6.38±0.86 <sup>gfedcba</sup>	35.54
4	39.22±4.89 <sup>a</sup>	3.09±0.05 <sup>cba</sup>	8.87±1.55 <sup>cba</sup>	7.17±1.28 <sup>dcba</sup>	47.46
5	28.05±2.91 <sup>lkjihgfedc</sup>	2.45±0.43 <sup>fedc</sup>	6.93±0.75 <sup>mlkjihg</sup>	5.25±0.26 <sup>mlkjihg</sup>	26.62
6	33.70±4.55 <sup>fedcba</sup>	2.91±0.69 <sup>dcba</sup>	8.98±1.41 <sup>ba</sup>	6.98±1.00 <sup>hgfedcb</sup>	46.61
7	34.73±4.85 <sup>edcba</sup>	2.44±0.51 <sup>fedc</sup>	7.90±1.56 <sup>ihgfedcb</sup>	6.13±1.36 <sup>kjihgfb</sup>	36.26
8	24.15±3.03 <sup>onmlkjihg</sup>	2.42±0.48 <sup>fedc</sup>	7.63±1.15 <sup>kjihgfedcb</sup>	6.05±0.48 <sup>kjihgfb</sup>	33.89
9	30.98±4.53 <sup>hgfedcb</sup>	2.29±0.38 <sup>fed</sup>	8.18±0.84 <sup>gfedcba</sup>	6.02±0.35 <sup>jihgfe</sup>	36.11
10	30.90±1.80 <sup>hg<sup>f</sup>fedcb</sup>	2.79±0.50 <sup>edcb</sup>	8.65±0.90 <sup>dcba</sup>	6.57±1.61 <sup>edcba</sup>	42.22
11	35.37±3.06 <sup>dcba</sup>	3.56±0.80 <sup>a</sup>	9.62±1.57 <sup>a</sup>	7.80±1.17 <sup>ba</sup>	55.77
12	26.60±3.37 <sup>nmlkjihgf</sup>	2.28±0.36 <sup>fed</sup>	7.80±0.67 <sup>jihgfedcb</sup>	5.88±0.97 <sup>lkjihgfb</sup>	33.87
13	28.53±3.03 <sup>kjihgfedcb</sup>	2.92±0.36 <sup>dcba</sup>	7.82±0.74 <sup>jihgfedcb</sup>	6.33±0.66 <sup>gfedcb</sup>	36.38
14	35.55±4.76 <sup>cba</sup>	2.94±0.38 <sup>dcba</sup>	8.08±0.71 <sup>hgfedcb</sup>	6.35±0.61 <sup>gfedcba</sup>	37.68
15	25.93±3.47 <sup>nmlkjihgf</sup>	2.74±0.47 <sup>edcb</sup>	8.43±0.88 <sup>fedcba</sup>	6.13±0.71 <sup>ihgfedc</sup>	38.11
16	27.82±2.55 <sup>mlkjihgfed</sup>	2.61±0.49 <sup>edcb</sup>	8.48±0.82 <sup>edcba</sup>	6.17±0.62 <sup>ihgfedc</sup>	38.27
17	23.63±2.34 <sup>ponmlkjih</sup>	2.43±0.49 <sup>fedc</sup>	6.58±1.10 <sup>nmlkji</sup>	5.60±0.70 <sup>jihgfe</sup>	27.14
18	30.42±2.77 <sup>ihgfedcb</sup>	2.77±0.54 <sup>edcb</sup>	8.40±0.80 <sup>gfedcba</sup>	6.20±0.41 <sup>ihgfedc</sup>	38.07
19	27.33±3.28 <sup>nmlkjihgfe</sup>	2.89±0.35 <sup>dcba</sup>	7.43±0.89 <sup>kjihgfedc</sup>	5.28±0.52 <sup>mlkjih</sup>	28.91
20	31.10±2.15 <sup>hgfedcb</sup>	2.46±0.46 <sup>fedc</sup>	7.13±1.24 <sup>lkjihgfe</sup>	5.55±1.18 <sup>mlkjih</sup>	29.76
21	30.43±4.42 <sup>ihgfedcb</sup>	2.46±0.47 <sup>fedc</sup>	7.25±0.48 <sup>lkjihgfed</sup>	5.95±0.63 <sup>jihgfedc</sup>	31.58
22	28.02±5.66 <sup>mlkjihgfedc</sup>	2.57±0.55 <sup>fedcb</sup>	7.52±1.62 <sup>kjihgfedcb</sup>	5.75±1.32 <sup>mlkji</sup>	32.79
23	20.40±3.18 <sup>ponnm</sup>	2.56±0.50 <sup>fedcb</sup>	6.95±0.56 <sup>mlkjihgfb</sup>	5.67±0.29 <sup>kjihgfb</sup>	28.75
24	27.78±3.04 <sup>mlkjihgfed</sup>	2.29±0.74 <sup>fed</sup>	7.47±0.82 <sup>kjihgfedc</sup>	6.18±1.03 <sup>jihgfed</sup>	34.17
25	26.25±3.65 <sup>nmlkjihgfb</sup>	2.29±0.41 <sup>fed</sup>	6.62±1.01 <sup>nmlkjih</sup>	5.20±0.36 <sup>mlkji</sup>	25.24
26	29.23±4.58 <sup>jihgfedcb</sup>	2.91±0.36 <sup>dcba</sup>	8.92±1.47 <sup>cba</sup>	7.30±1.22 <sup>fedcba</sup>	48.50
27	32.27±3.56 <sup>fedcba</sup>	2.63±0.52 <sup>edcb</sup>	8.92±1.23 <sup>cba</sup>	7.15±1.17 <sup>cba</sup>	47.27
28	32.17±23.82 <sup>fedcba</sup>	2.71±0.82 <sup>edcb</sup>	7.58±1.99 <sup>kjihgfedcb</sup>	5.77±1.61 <sup>kjihgfb</sup>	33.73
29	21.18±4.00 <sup>ponmlk</sup>	1.89±0.40 <sup>f</sup>	6.20±1.48 <sup>nmlk</sup>	4.70±1.31 <sup>ml</sup>	22.35
30	22.8±5.56 <sup>ponmlkji</sup>	2.26±0.39 <sup>fed</sup>	6.45±0.89 <sup>nmlkji</sup>	5.33±1.11 <sup>kjihgfb</sup>	25.59
31	20.70±5.36 <sup>ponml</sup>	2.08±0.05 <sup>fe</sup>	5.67±0.72 <sup>nm</sup>	4.72±0.95 <sup>mlkj</sup>	19.88
32	26.35±6.61 <sup>nmlkjihgfb</sup>	2.45±0.49 <sup>fedc</sup>	7.22±1.65 <sup>lkjihgfed</sup>	5.93±1.28 <sup>fedcba</sup>	32.51
33	22.10±8.13 <sup>ponmlkj</sup>	2.59±0.54 <sup>fedcb</sup>	7.52±1.72 <sup>kjihgfedcb</sup>	5.82±1.78 <sup>kjihgfb</sup>	33.60
34	28.72±4.00 <sup>kjihgfedcb</sup>	2.75±0.47 <sup>edcb</sup>	8.87±1.05 <sup>cba</sup>	6.15±1.23 <sup>gfedcba</sup>	40.55
35	21.98±5.35 <sup>ponmlkj</sup>	2.09±0.58 <sup>fe</sup>	6.4±1.29 <sup>nmlkj</sup>	5.25±1.05 <sup>kjihgfb</sup>	25.34
36	16.62±4.20 <sup>p</sup>	2.08±0.04 <sup>fe</sup>	5.83±0.97 <sup>nml</sup>	4.67±0.57 <sup>mlk</sup>	20.17
37	28.37±7.56 <sup>lkjihgfedcb</sup>	2.59±0.48 <sup>fedcb</sup>	8.35±0.95 <sup>gfedcba</sup>	6.55±0.91 <sup>ihgfedc</sup>	40.40
38	36.03±6.51 <sup>ba</sup>	3.25±0.73 <sup>ba</sup>	8.83±1.76 <sup>cba</sup>	7.07±1.63 <sup>a</sup>	46.13

(续表 3.1)

代号	株高 /cm	茎粗 /mm	叶长 /cm	叶宽 /cm	叶面积/cm <sup>2</sup>
39	20.13±4.03 <sup>pon</sup>	2.27±0.40 <sup>fed</sup>	6.63±0.93 <sup>nmlkjih</sup>	5.15±0.61 <sup>mlkji</sup>	25.23
40	16.83±1.92 <sup>po</sup>	2.24±0.40 <sup>fed</sup>	5.42±0.93 <sup>n</sup>	4.58±0.58 <sup>m</sup>	18.02

注 1): 同列不同小写字母表示植株指标差异显著(P<0.05), 有相同字母即表示差异不显著。

### 3.1.2 果实外观指标

经过对 40 个草莓园的草莓果实外观状况进行测定, 结果如表 3.2 所示。由表可知, 研究区不同草莓园的草莓果实单果重为 13.72~44.63 g, 其中 1 号草莓园的草莓果实单果重最大; 果实横径为 2.87~4.61 cm, 其中 11 号草莓园的草莓果实横径最大; 果实纵径为 3.93~6.20 cm, 其中 38 号草莓园的果实纵径最大; 果型指数为 1.20~1.49, 其中 38 号草莓园的果实果型指数最大; 大部分草莓园草莓果型呈圆锥形。单果重、横径、纵径和果型指数分别最低的是 35 号、36 号、35 号和 19 号。其中 70% 的草莓园草莓果型为圆锥, 17.5% 的草莓园草莓果型为短圆锥, 12.5% 的草莓园草莓果型为长圆锥。

表 3.2 不同果园草莓果实外观指标情况

Table 3.2 Appearance indicators of strawberry fruits in different orchards

代号	单果重/g	横径/cm	纵径/cm	果型指数	果形
1	44.63±3.17 <sup>a</sup>	4.57±0.38 <sup>a</sup>	6.02±0.19 <sup>a</sup>	1.33±0.15 <sup>edcba</sup>	圆锥
2	36.89±3.57 <sup>dc</sup>	4.34±0.30 <sup>cba</sup>	5.32±0.11 <sup>hgfedcb</sup>	1.23±0.10 <sup>ed</sup>	短圆锥
3	25.59±1.11 <sup>onmlkjihg</sup>	3.77±0.05 <sup>kjihg fed</sup>	5.54±0.32 <sup>edcba</sup>	1.47±0.10 <sup>ba</sup>	长圆锥
4	25.22±7.83 <sup>onmlkjih</sup>	3.83±0.43 <sup>kjihg fedc</sup>	5.13±0.29 <sup>lkjihg fedc</sup>	1.35±0.12 <sup>edcba</sup>	圆锥
5	34.05±2.98 <sup>edc</sup>	4.21±0.15 <sup>edcba</sup>	5.36±0.15 <sup>hgfedcb</sup>	1.27±0.07 <sup>edcb</sup>	圆锥
6	31.14±2.87 <sup>jihg fed</sup>	4.01±0.07 <sup>hgfedcb</sup>	5.23±0.15 <sup>jihg fedcb</sup>	1.3±0.03 <sup>edcba</sup>	圆锥
7	36.39±5.81 <sup>dc</sup>	4.24±0.36 <sup>dcba</sup>	5.50±0.11 <sup>fedcba</sup>	1.31±0.14 <sup>edcba</sup>	圆锥
8	33.53±5.58 <sup>fedc</sup>	4.20±0.39 <sup>fedcba</sup>	5.35±0.28 <sup>hgfedcb</sup>	1.28±0.07 <sup>edcb</sup>	圆锥
9	24.62±0.35 <sup>onmlkji</sup>	3.71±0.12 <sup>kjihg fed</sup>	4.66±0.12 <sup>nmlkji</sup>	1.26±0.07 <sup>edc</sup>	短圆锥
10	24.99±4.64 <sup>onmlkjih</sup>	3.63±0.18 <sup>kjihg</sup>	4.82±0.30 <sup>mlkjihg</sup>	1.33±0.03 <sup>edcba</sup>	圆锥
11	40.09±3.96 <sup>cba</sup>	4.61±0.33 <sup>a</sup>	5.76±0.46 <sup>cba</sup>	1.25±0.12 <sup>edc</sup>	圆锥
12	21.6±0.65 <sup>ponml</sup>	3.59±0.07 <sup>kjih</sup>	4.62±0.21 <sup>nmlkj</sup>	1.29±0.04 <sup>edcba</sup>	圆锥
13	23.06±3.41 <sup>onmlk</sup>	3.6±0.26 <sup>kjih</sup>	4.78±0.08 <sup>nmlkjih</sup>	1.33±0.07 <sup>edcba</sup>	圆锥
14	24.75±1.21 <sup>onmlkjih</sup>	3.70±0.13 <sup>kjihg fed</sup>	5.19±0.42 <sup>kjihg fedc</sup>	1.41±0.16 <sup>edcba</sup>	圆锥
15	33.31±2.12 <sup>gfedc</sup>	4.17±0.10 <sup>gfedcba</sup>	5.28±0.48 <sup>ihg fedcb</sup>	1.27±0.14 <sup>edcb</sup>	圆锥
16	26.14±4.28 <sup>onmlkjihgf</sup>	3.78±0.30 <sup>kjihg fed</sup>	5.04±0.26 <sup>mlkjihg fed</sup>	1.34±0.11 <sup>edcba</sup>	圆锥
17	29.44±4.91 <sup>lkjihg fed</sup>	3.89±0.20 <sup>ihg fedc</sup>	5.46±0.50 <sup>gfedcba</sup>	1.40±0.05 <sup>edcba</sup>	长圆锥

(续表 3.2)

代号	单果重/g	横径/cm	纵径/cm	果型指数	果形
18	26.55±3.77 <sup>nmlkjihgfe</sup>	3.78±0.17 <sup>kjihgfe</sup>	4.77±0.20 <sup>nmlkjih</sup>	1.26±0.04 <sup>edcb</sup>	圆锥
19	31.83±0.36 <sup>ihgfe</sup>	4.33±0.57 <sup>cba</sup>	5.14±0.31 <sup>lkjihgfe</sup>	1.20±0.18 <sup>e</sup>	短圆锥
20	43.22±7.80 <sup>ba</sup>	4.52±0.42 <sup>ba</sup>	5.84±0.59 <sup>ba</sup>	1.29±0.05 <sup>edcba</sup>	圆锥
21	18.50±3.14 <sup>qpo</sup>	3.30±0.24 <sup>mlk</sup>	4.53±0.45 <sup>nml</sup>	1.37±0.11 <sup>edcba</sup>	圆锥
22	25.83±3.62 <sup>onmlkjihgf</sup>	3.65±0.26 <sup>kjihgf</sup>	4.99±0.23 <sup>mlkjihgfe</sup>	1.37±0.05 <sup>edcba</sup>	圆锥
23	29.59±5.38 <sup>kjihgfe</sup>	3.94±0.24 <sup>hgfe</sup>	5.14±0.31 <sup>lkjihgfe</sup>	1.30±0.02 <sup>edcba</sup>	圆锥
24	28.31±5.62 <sup>mlkjihgfe</sup>	3.90±0.36 <sup>ihgfe</sup>	5.16±0.13 <sup>lkjihgfe</sup>	1.33±0.11 <sup>edcba</sup>	圆锥
25	32.62±3.56 <sup>hgfe</sup>	4.01±0.35 <sup>hgfe</sup>	5.25±0.12 <sup>jihgfe</sup>	1.31±0.09 <sup>edcba</sup>	圆锥
26	31.07±5.32 <sup>jihgfe</sup>	3.86±0.26 <sup>jihgfe</sup>	5.35±0.41 <sup>hgfe</sup>	1.39±0.07 <sup>edcba</sup>	圆锥
27	21.50±2.16 <sup>ponm</sup>	3.53±0.14 <sup>kjih</sup>	4.57±0.23 <sup>nmlk</sup>	1.29±0.02 <sup>edcba</sup>	圆锥
28	34.16±3.06 <sup>edc</sup>	4.04±0.38 <sup>hgfe</sup>	5.85±0.08 <sup>ba</sup>	1.46±0.11 <sup>cba</sup>	圆锥
29	22.25±1.05 <sup>onmlk</sup>	3.78±0.12 <sup>kjihgfe</sup>	5.12±0.15 <sup>mlkjihgfe</sup>	1.35±0.04 <sup>edcba</sup>	短圆锥
30	23.06±0.39 <sup>onmlk</sup>	3.38±0.2 <sup>lkji</sup>	4.47±0.05 <sup>onm</sup>	1.33±0.07 <sup>edcba</sup>	圆锥
31	26.42±1.42 <sup>nmlkjihgfe</sup>	3.68±0.09 <sup>kjihgfe</sup>	5.09±0.04 <sup>mlkjihgfe</sup>	1.38±0.03 <sup>edcba</sup>	圆锥
32	31.20±3.83 <sup>jihgfe</sup>	4.01±0.09 <sup>hgfe</sup>	5.64±0.20 <sup>dcba</sup>	1.41±0.08 <sup>edcba</sup>	长圆锥
33	19.05±1.94 <sup>qpon</sup>	3.32±0.08 <sup>mlkj</sup>	4.77±0.12 <sup>nmlkjih</sup>	1.44±0.04 <sup>dcba</sup>	短圆锥
34	29.67±2.11 <sup>kjihgfe</sup>	3.73±0.21 <sup>kjihgfe</sup>	5.03±0.15 <sup>mlkjihgfe</sup>	1.35±0.12 <sup>edcba</sup>	圆锥
35	13.72±0.62 <sup>q</sup>	2.97±0.15 <sup>ml</sup>	3.93±0.15 <sup>o</sup>	1.33±0.12 <sup>edcba</sup>	短圆锥
36	14.74±6.19 <sup>qp</sup>	2.87±0.51 <sup>m</sup>	4.17±0.70 <sup>on</sup>	1.46±0.08 <sup>cba</sup>	圆锥
37	23.85±5.52 <sup>onmlkj</sup>	3.52±0.28 <sup>kjih</sup>	4.85±0.61 <sup>mlkjihgf</sup>	1.38±0.13 <sup>edcba</sup>	圆锥
38	33.47±7.07 <sup>fedc</sup>	4.03±0.29 <sup>hgfe</sup>	6.02±0.68 <sup>a</sup>	1.49±0.15 <sup>a</sup>	长圆锥
39	22.60±1.79 <sup>onmlk</sup>	3.65±0.28 <sup>kjihgf</sup>	4.63±0.50 <sup>nmlkji</sup>	1.28±0.24 <sup>edcb</sup>	短圆锥
40	22.46±1.31 <sup>onmlk</sup>	3.33±0.12 <sup>mlkj</sup>	4.9±0.10 <sup>mlkjihgfe</sup>	1.47±0.08 <sup>ba</sup>	长圆锥

注 1): 同列不同小写字母表示果实外观指标差异显著(P<0.05), 有相同字母即表示差异不显著。

### 3.1.3 果实营养指标

经过对 40 个草莓园的草莓果实营养指标进行测定, 测定结果如表 3.3 所示。由表可知, 研究区草莓果实平均维生素 C 含量为 49.24 mg·100g<sup>-1</sup>、可溶性固形物含量为 9.30%、总酚含量为 2.29 mg·g<sup>-1</sup>、花青素含量为 3.52 mg·100g<sup>-1</sup>、固酸比为 12.14。其中 1 号草莓园草莓果实可溶性固形物含量和固酸比最高, 为 11.27%和 16.00; 草莓果实营养不仅由可溶性固形物含量和固酸比的含量决定, 抗氧化物质也是其重要指标, 1 号草莓园草莓果实维生素 C 含量最高, 为 66.6 mg·100g<sup>-1</sup>; 草莓的颜色与果实花青素含量直接相关, 5 号草莓园果实花青素含量最高, 为 5.23 mg·100g<sup>-1</sup>。

表 3.3 不同果园草莓果实营养指标情况

Table 3.3 Nutritional indicators of strawberry fruits in different orchards

代号	维生素 C ( $\text{mg}\cdot 100\text{g}^{-1}$ )	可溶性固形物/%	固酸比	总酚 ( $\text{mg}\cdot \text{g}^{-1}$ )	花青素 ( $\text{mg}\cdot 100\text{g}^{-1}$ )
1	66.60±0.85 <sup>a</sup>	11.27±0.12 <sup>b</sup>	16.00	2.13±0.02 <sup>r</sup>	1.73±0.08 <sup>W</sup>
2	54.06±0.76 <sup>fed</sup>	9.30±0.1 <sup>nml</sup>	14.27	2.25±0.01 <sup>ml</sup>	3.78±0.08 <sup>I</sup>
3	48.60±0.85 <sup>nmlk</sup>	9.53±0.06 <sup>kji</sup>	11.41	2.31±0 <sup>i</sup>	2.90±0.07 <sup>P</sup>
4	55.26±0.93 <sup>d</sup>	10.30±0.1 <sup>ed</sup>	14.47	2.13±0 <sup>f</sup>	3.08±0.05 <sup>NM</sup>
5	52.80±1.02 <sup>hgf</sup>	10.23±0.15 <sup>ed</sup>	14.64	2.35±0.02 <sup>h</sup>	5.23±0.04 <sup>C</sup>
6	42.60±0.85 <sup>s</sup>	9.70±0.1 <sup>ih</sup>	11.84	2.38±0.01 <sup>fe</sup>	3.59±0.05 <sup>J</sup>
7	48.18±0.25 <sup>nml</sup>	9.10±0.1 <sup>pon</sup>	13.02	2.38±0.03 <sup>f</sup>	3.23±0.01 <sup>L</sup>
8	46.20±0.85 <sup>po</sup>	9.13±0.12 <sup>onm</sup>	12.09	2.26±0.01 <sup>l</sup>	3.55±0.06 <sup>J</sup>
9	55.20±0 <sup>d</sup>	10.17±0.23 <sup>fe</sup>	12.30	2.39±0.01 <sup>ed</sup>	3.51±0.10 <sup>J</sup>
10	47.88±0.17 <sup>nm</sup>	8.30±0.20 <sup>ts</sup>	11.07	2.28±0.01 <sup>j</sup>	4.84±0.03 <sup>D</sup>
11	49.74±0.93 <sup>lkj</sup>	10.00±0 <sup>gf</sup>	11.84	2.38±0.01 <sup>f</sup>	3.97±0.03 <sup>G</sup>
12	53.46±0.59 <sup>gfe</sup>	8.93±0.15 <sup>qpo</sup>	10.00	2.28±0.01 <sup>kj</sup>	2.65±0.19 <sup>R</sup>
13	57.66±0.93 <sup>c</sup>	9.73±0.06 <sup>ih</sup>	11.05	2.26±0.01 <sup>lk</sup>	3.15±0.03 <sup>M</sup>
14	48.60±0.85 <sup>nmlk</sup>	9.27±0.15 <sup>nml</sup>	12.70	2.19±0.01 <sup>qpo</sup>	5.53±0.02 <sup>B</sup>
15	47.94±0.59 <sup>nm</sup>	14.23±0.21 <sup>a</sup>	16.07	2.18±0.01 <sup>qp</sup>	2.47±0.02 <sup>T</sup>
16	51.60±0.85 <sup>ih</sup>	9.57±0.06 <sup>ji</sup>	12.13	2.24±0 <sup>nml</sup>	4.33±0.04 <sup>F</sup>
17	49.20±0.34 <sup>mlk</sup>	8.83±0.15 <sup>q</sup>	11.66	2.17±0.02 <sup>q</sup>	2.93±0.07 <sup>PO</sup>
18	44.94±0.59 <sup>qp</sup>	9.27±0.12 <sup>nml</sup>	13.92	2.19±0.01 <sup>qpo</sup>	3.95±0.2 <sup>G</sup>
19	51.66±1.10 <sup>ih</sup>	10.40±0 <sup>d</sup>	12.74	2.09±0.01 <sup>t</sup>	2.36±0.03 <sup>U</sup>
20	44.40±0.34 <sup>rq</sup>	10.70±0 <sup>c</sup>	12.40	2.23±0.01 <sup>n</sup>	2.92±0.04 <sup>PO</sup>
21	47.40±0.68 <sup>on</sup>	9.33±0.12 <sup>mlk</sup>	14.19	2.20±0.01 <sup>o</sup>	4.40±0.07 <sup>FE</sup>
22	44.40±0.51 <sup>rq</sup>	8.33±0.06 <sup>tsr</sup>	13.34	2.24±0.01 <sup>nm</sup>	3.02±0.03 <sup>N</sup>
23	50.76±0.68 <sup>ji</sup>	8.20±0 <sup>t</sup>	8.90	2.30±0.01 <sup>i</sup>	2.81±0.06 <sup>Q</sup>
24	49.20±0.68 <sup>mlk</sup>	10.00±0.17 <sup>gf</sup>	12.09	2.34±0.03 <sup>h</sup>	4.42±0.08 <sup>E</sup>
25	47.40±0.85 <sup>on</sup>	10.00±0.10 <sup>gf</sup>	11.95	2.26±0.02 <sup>lk</sup>	2.55±0.02 <sup>S</sup>
26	45.00±0.17 <sup>qp</sup>	8.83±0.06 <sup>q</sup>	9.97	2.30±0.01 <sup>i</sup>	3.87±0.04 <sup>H</sup>
27	43.38±0.08 <sup>sr</sup>	6.70±0.20 <sup>v</sup>	10.34	2.24±0.02 <sup>nm</sup>	2.23±0.04 <sup>V</sup>
28	59.22±0.42 <sup>b</sup>	9.80±0 <sup>hg</sup>	13.43	2.25±0.01 <sup>ml</sup>	3.95±0.05 <sup>HG</sup>
29	41.94±0.08 <sup>s</sup>	9.40±0 <sup>lkj</sup>	10.71	2.34±0.01 <sup>h</sup>	3.96±0.08 <sup>G</sup>
30	45.66±1.1 <sup>qp</sup>	8.47±0.06 <sup>sr</sup>	9.40	2.40±0.02 <sup>d</sup>	3.37±0.09 <sup>K</sup>
31	43.02±0.42 <sup>s</sup>	6.80±0.20 <sup>v</sup>	9.66	2.35±0 <sup>hg</sup>	3.28±0.03 <sup>L</sup>
32	48.60±0.68 <sup>nmlk</sup>	8.90±0.10 <sup>qp</sup>	12.11	2.20±0.03 <sup>po</sup>	3.29±0.04 <sup>K</sup>
33	54.60±0.68 <sup>ed</sup>	9.27±0.12 <sup>nml</sup>	10.62	2.36±0.02 <sup>gf</sup>	4.34±0.05 <sup>FE</sup>
34	47.34±0.59 <sup>on</sup>	9.80±0.20 <sup>hg</sup>	12.31	2.43±0.03 <sup>c</sup>	3.75±0.05 <sup>I</sup>
35	49.86±0.76 <sup>kj</sup>	9.00±0 <sup>qpo</sup>	15.56	2.55±0.03 <sup>a</sup>	5.93±0.05 <sup>A</sup>
36	47.94±0.08 <sup>nm</sup>	8.23±0.06 <sup>t</sup>	9.49	2.52±0.02 <sup>b</sup>	3.76±0.08 <sup>I</sup>
37	48.66±0.59 <sup>nmlk</sup>	7.73±0.06 <sup>u</sup>	10.75	2.44±0.01 <sup>c</sup>	3.37±0.02 <sup>K</sup>
38	52.08±0.85 <sup>ihg</sup>	9.90±0.10 <sup>hg</sup>	13.76	2.37±0.01 <sup>f</sup>	2.86±0.02 <sup>QP</sup>

(续表 3.3)

代号	维生素 C ( $\text{mg}\cdot 100\text{g}^{-1}$ )	可溶性固形物/%	固酸比	总酚 ( $\text{mg}\cdot \text{g}^{-1}$ )	花青素 ( $\text{mg}\cdot 100\text{g}^{-1}$ )
39	$48.66\pm 0.76^{\text{nmk}}$	$8.53\pm 0.06^{\text{t}}$	10.38	$2.11\pm 0.03^{\text{s}}$	$2.77\pm 0.03^{\text{Q}}$
40	$37.98\pm 0.76^{\text{t}}$	$6.83\pm 0.06^{\text{v}}$	11.12	$2.40\pm 0.01^{\text{d}}$	$3.00\pm 0.06^{\text{ON}}$

注 1): 同列不同小写字母表示果实营养指标差异显著( $P<0.05$ ), 同列不同大写字母表示果实营养指标差异显著( $P<0.01$ )。

### 3.1.4 果实风味指标

经过对 40 个草莓园的草莓果实风味指标进行测定, 测定结果如 3.4 所示。由表可知, 研究区草莓果实平均可溶性糖为 6.17%、总酸度为 0.77%、总甜度为 5.37、甜酸比为 7.00、糖酸比为 8.08。其中, 33 号草莓园可溶性糖含量最高, 为 8.93%; 草莓园间草莓果实总酸度为 0.58%~0.92%; 40 个草莓园中 12 号草莓园草莓果实的总甜度显著高于其他果园, 为 9.54; 草莓果实糖酸比和甜酸比在很大程度上会影响果实风味, 可以看出 1 号草莓园草莓果实的糖酸比最高, 为 10.71, 18 号草莓园草莓果实甜酸比最高, 为 13.15, 而 32 号草莓园草莓果实的糖酸比仅为 5.74, 30 号草莓园草莓果实甜酸比仅为 3.7。

表 3.4 不同果园草莓果实风味指标情况

Table 3.4 Flavor indicators of strawberry fruits in different orchards

代号	可溶性糖/%	总酸度/%	总甜度	甜酸比	糖酸比
1	$8.08\pm 0.34^{\text{dc}}$	$0.70\pm 0.04^{\text{dc}}$	7.53	10.71	11.49
2	$7.74\pm 0.46^{\text{cd}}$	$0.65\pm 0^{\text{cd}}$	5.99	9.19	11.88
3	$5.69\pm 0.34^{\text{lkji}}$	$0.84\pm 0.02^{\text{lkij}}$	5.36	6.42	6.81
4	$4.10\pm 0.17^{\text{o}}$	$0.71\pm 0^{\text{o}}$	5.58	7.85	5.76
5	$6.24\pm 0.06^{\text{ihg}}$	$0.70\pm 0^{\text{ihg}}$	7.30	10.44	8.92
6	$6.08\pm 0.33^{\text{jihg}}$	$0.82\pm 0.01^{\text{jihg}}$	3.28	4.01	7.42
7	$5.89\pm 0.21^{\text{kjih}}$	$0.70\pm 0^{\text{kjih}}$	3.83	5.47	8.43
8	$6.29\pm 0.27^{\text{hg}}$	$0.76\pm 0^{\text{hg}}$	7.01	9.29	8.33
9	$6.48\pm 0.32^{\text{g}}$	$0.83\pm 0^{\text{g}}$	5.82	7.03	7.83
10	$4.54\pm 0.26^{\text{o}}$	$0.75\pm 0^{\text{o}}$	6.31	8.41	6.05
11	$8.30\pm 0.31^{\text{cb}}$	$0.84\pm 0.01^{\text{cb}}$	6.72	7.96	9.83
12	$6.14\pm 0.30^{\text{jihg}}$	$0.89\pm 0^{\text{jihg}}$	9.54	10.68	6.87
13	$5.96\pm 0.21^{\text{kjihg}}$	$0.88\pm 0^{\text{kjihg}}$	4.82	5.47	6.77
14	$5.06\pm 0.37^{\text{n}}$	$0.73\pm 0^{\text{n}}$	4.03	5.52	6.94
15	$6.18\pm 0.14^{\text{ihg}}$	$0.89\pm 0.01^{\text{ihg}}$	7.40	8.35	6.98
16	$5.13\pm 0.19^{\text{nm}}$	$0.79\pm 0.01^{\text{nm}}$	6.78	8.60	6.50
17	$5.58\pm 0.46^{\text{nmkij}}$	$0.76\pm 0.01^{\text{nmkij}}$	6.10	8.06	7.36



(续表 3.4)

代号	可溶性糖/%	总酸度/%	总甜度	甜酸比	糖酸比
18	8.75±0.49 <sup>ba</sup>	0.67±0 <sup>ba</sup>	5.20	7.82	13.15
19	7.39±0.36 <sup>fe</sup>	0.82±0 <sup>fe</sup>	5.64	6.91	9.05
20	6.52±0.04 <sup>g</sup>	0.86±0.05 <sup>g</sup>	7.51	8.70	7.56
21	7.17±0.36 <sup>f</sup>	0.66±0.01 <sup>f</sup>	5.24	7.96	10.89
22	5.67±0.08 <sup>mlkji</sup>	0.62±0.01 <sup>mlkji</sup>	5.94	9.50	9.07
23	6.10±0.06 <sup>ihg</sup>	0.92±0 <sup>ihg</sup>	6.08	6.60	6.62
24	7.71±0.46 <sup>ed</sup>	0.83±0.01 <sup>ed</sup>	5.41	6.54	9.32
25	5.86±0.49 <sup>kjih</sup>	0.84±0.01 <sup>kjih</sup>	7.90	9.44	7.0
26	6.19±0.45 <sup>ihg</sup>	0.89±0.02 <sup>ihg</sup>	5.97	6.74	6.99
27	4.31±0.15 <sup>o</sup>	0.65±0.02 <sup>o</sup>	5.03	7.76	6.65
28	8.19±0.40 <sup>dc</sup>	0.73±0 <sup>dc</sup>	4.37	5.98	11.22
29	5.94±0.07 <sup>kjihg</sup>	0.88±0 <sup>kjihg</sup>	4.38	4.98	6.77
30	5.24±0.17 <sup>nml</sup>	0.90±0.01 <sup>nml</sup>	3.33	3.70	5.82
31	6.17±0.31 <sup>ihg</sup>	0.70±0.01 <sup>ihg</sup>	3.73	5.30	8.77
32	4.22±0.23 <sup>o</sup>	0.73±0 <sup>o</sup>	3.05	4.15	5.74
33	8.93±0.22 <sup>a</sup>	0.87±0 <sup>a</sup>	5.70	6.53	10.23
34	5.16±0.41 <sup>nml</sup>	0.80±0.01 <sup>nml</sup>	3.94	4.95	6.48
35	6.32±0.08 <sup>hg</sup>	0.58±0.01 <sup>hg</sup>	4.55	7.87	10.92
36	5.41±0.28 <sup>nmlk</sup>	0.87±0 <sup>nmlk</sup>	3.58	4.13	6.24
37	5.12±0.17 <sup>nm</sup>	0.72±0 <sup>nm</sup>	3.74	5.20	7.11
38	5.87±0.26 <sup>kjih</sup>	0.72±0 <sup>kjih</sup>	4.77	6.63	8.16
39	6.38±0.23 <sup>hg</sup>	0.82±0 <sup>hg</sup>	2.76	3.36	7.76
40	4.52±0.19 <sup>o</sup>	0.61±0 <sup>o</sup>	3.60	5.85	7.36

注 1): 同列不同小写字母表示果实风味指标差异显著(P<0.05)。

### 3.1.5 果实糖组分情况

经过对 40 个草莓园的草莓果实糖组分进行测定, 测定结果如图 3.1 所示。由图可知, 研究区草莓果实平均蔗糖含量为 2.41%、果糖为 1.00%、葡萄糖为 1.60%。其中, 除 32 号和 40 号草莓园外, 不同草莓园草莓果实糖组分含量均表现为蔗糖含量大于葡萄糖含量和果糖含量, 草莓果实蔗糖含量在 0.98%~4.75%, 且 12 号草莓园草莓果实蔗糖含量最高; 32 和 40 号草莓园草莓果实葡萄糖含量最高, 草莓园间草莓果实果糖含量的范围为 0.07%~2.14%, 最高值为最低值的 31 倍, 差异显著。

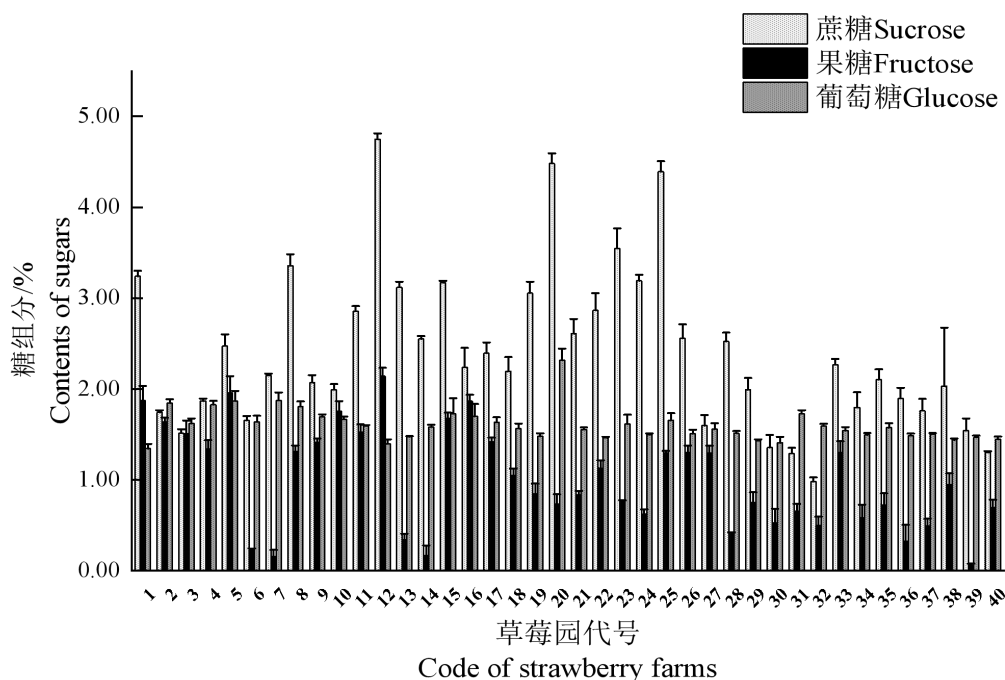


图 3.1 草莓果实糖组分含量  
Figure 3.1 Sugar content of strawberry fruits

### 3.2 果实品质指标的变异分析

由表 3.5 可知，不同草莓园中草莓植株的各项指标变异系数介于 12.74%~25.08%之间，显示出各指标之间存在明显的差异。其中，叶面积的变异系数最大，达到了 25.08%，说明在草莓植株的叶面积方面存在较大的变异性。相比之下，茎粗、叶长和叶宽的变异系数在 12.74%~19.02%之间，表明这些指标在个体间存在中等程度的变异。不同草莓园草莓果实各指标变异系数为 4.67%~56.02%，各指标间存在明显差异，尤其是果糖含量变异系数最大，为 56.02%，其次是蔗糖含量变异系数为 36.53%，表明个体间这些指标存在广泛变异，单果重、横径、可溶性糖、总酸度、可溶性固形物、葡萄糖、固酸比、总甜度、甜酸比、糖酸比、VC、花青素的变异系数范围为 10.3%~28.73%，中等程度变异；纵径、果型指数、总酚变异系数<10%，离散程度较小。

表 3.5 不同果园草莓果实品质指标的变异分析

项目	最小值	最大值	均值	标准差	变异系数(%)
株高/cm	16.62±4.2	39.22±3.06	27.82	5.29	19.02
茎粗/mm	1.89±0.4	3.56±0.8	2.59	0.35	13.66
叶长/cm	5.42±0.93	9.62±1.57	7.62	1.01	13.25
叶宽/cm	4.58±0.58	7.8±1.17	5.97	0.76	12.74
叶面积/cm <sup>2</sup>	18.02	55.77	34.31	8.61	25.08
单果重/g	13.72±0.62	44.63±3.17	28.03	6.96	24.84
横径/cm	2.87±0.51	4.61±0.33	3.82	0.39	10.30
纵径/cm	3.93±0.15	6.02±0.68	5.11	0.47	9.27
果型指数	1.20±0.18	1.49±0.15	1.34	0.07	5.27
蔗糖/%	0.98±0.04	4.75±0.07	2.41	0.88	36.53
果糖/%	0.07±0.01	2.14±0.09	1.00	0.56	56.02
葡萄糖/%	1.34±0.05	2.32±0.13	1.60	0.18	11.10
可溶性糖/%	4.10±0.17	8.93±0.22	6.17	1.22	19.81
可溶性固形物/%	6.83±0.06	14.23±0.21	9.30	1.29	13.86
总甜度	2.76	9.54	5.37	1.54	28.73
总酸度/%	0.58±0.01	0.92±0.00	0.77	0.09	11.92
固酸比	8.90	16.07	12.14	1.83	15.08
甜酸比	3.36	10.71	7.00	1.96	28.06
糖酸比	6.24	13.15	8.08	1.88	23.22
维生素 C/(mg·100g <sup>-1</sup> )	37.98±0.76	66.60±0.85	49.24	5.24	10.64
总酚/(mg·g <sup>-1</sup> )	2.09±0.01	2.55±0.03	2.29	0.11	4.67
花青素/(mg·100g <sup>-1</sup> )	1.73±0.08	5.93±0.05	3.52	0.89	25.44

### 3.3 草莓果实品质指标主成分分析

分析试验得出的 22 组数据对于因子分析的适宜性,对 40 份草莓的果实 16 项主要指标(表 3.7)进行检验,发现 KMO 系数>0.6, P 值<0.05,可以进行主成分分析。

主成分分析结果见表 3.6,前 6 个主成分的特征值大于 1,累计贡献率达到 83.729%,包含了 16 个品质指标的绝大部分信息。第 1 主成分的贡献率为 34.219%,横径、单果重、总甜度、可溶性固形物、甜酸比、纵径、蔗糖、固酸比和可溶性糖载荷较高,特征值分别为 0.846、0.805、0.731、0.712、0.699、0.648、0.642、0.590 和 0.511,其代表草莓园主要为 1 号、2 号、5 号、8 号、11 号、12 号、15 号、19 号、20 号、25 号、28 号;第 2 主成分的贡献率为 14.627%,固酸比、糖酸比和花青素载荷较高,特征值分别为 0.564、0.797 和 0.564,其代表草莓园主要为

2号、14号、18号、21号、28号、33号、35号、40号；第3主成分的贡献率为11.559%，总甜度和蔗糖载荷较高，特征值分别为0.542、0.566，其代表草莓园主要为9号、12号、13号、23号、25号、33号、35号、36号；第4主成分贡献率为9.270%，可溶性糖载荷较高，特征值为0.523，其代表草莓园主要为1号、13号、19号、24号、28号、33号、38号、39号；第5主成分贡献率为7.576%，总酚载荷较高，特征值为0.513，其代表草莓园主要为5号、6号、7号、11号、20号、24号；第6主成分贡献率为6.477%，其代表草莓园主要为4号、5号、15号、14号、16号、35号、36号、38号。以前6个主成分和其所对应的特征值占总特征值的比例为权重得到主成分表达式：

$Y=34.2191Y_1+14.6271Y_2+11.5587Y_3+9.2610Y_4+7.5765Y_5+6.4773Y_6$ ，计算综合得分，草莓果实指标主成分得分前19的样本见表3.8。筛选出18个综合得分较高的草莓园，综合得分最高的为1号草莓园，其余得分较高的(>1)由高到低的草莓园依次是1号、15号、11号、20号、2号、5号、28号、19号、18号、24号、25号、33号、12号、8号、9号、21号、13号、38号，其中1号、15号、11号、20号主成分得分高于100，表明这四个草莓园综合品质较好。16号草莓园综合得分低于1，表明该草莓园综合品质相对较差。

表3.6 主成分特征值

Table3.6 Characteristic values of principal components

主成分	特征值	贡献率(%)	累计贡献率(%)
1	5.475	34.219	34.219
2	2.340	14.627	48.846
3	1.849	11.559	60.405
4	1.483	9.270	69.675
5	1.212	7.576	77.251
6	1.036	6.477	83.729

表 3.7 主成分初始因子载荷矩阵

Table3.7 Principal component initial factor loading matrix

主成分	1	2	3	4	5	6
横径 X <sub>1</sub>	0.846	-0.252	-0.377	0.001	0.145	-0.138
单果重 X <sub>2</sub>	0.805	-0.228	-0.445	0.007	0.159	-0.082
总甜度 X <sub>3</sub>	0.731	-0.110	0.542	-0.201	-0.120	0.098
可溶性固形物 X <sub>4</sub>	0.712	-0.034	0.036	0.172	0.149	0.447
甜酸比 X <sub>5</sub>	0.699	0.215	0.381	-0.375	-0.277	0.041
纵径 X <sub>6</sub>	0.648	-0.268	-0.604	0.121	0.028	0.116
蔗糖 X <sub>7</sub>	0.642	-0.212	0.566	0.006	0.012	0.021
固酸比 X <sub>8</sub>	0.590	0.564	-0.230	-0.164	-0.145	0.318
果型指数 X <sub>9</sub>	-0.496	0.031	-0.322	0.226	-0.213	0.454
维生素 C X <sub>10</sub>	0.491	0.214	0.101	0.463	-0.243	0.343
糖酸比 X <sub>11</sub>	0.411	0.797	-0.050	0.223	0.087	-0.325
总酸度 X <sub>12</sub>	0.060	-0.690	0.387	0.436	0.367	0.121
花青素 X <sub>13</sub>	-0.252	0.564	0.112	-0.197	0.495	0.313
葡萄糖 X <sub>14</sub>	0.397	-0.127	-0.149	-0.643	0.419	0.044
可溶性糖 X <sub>15</sub>	0.511	0.456	0.146	0.523	0.316	-0.296
总酚 X <sub>16</sub>	-0.511	0.172	0.091	-0.001	0.513	0.228

表 3.8 草莓主成分因子得分

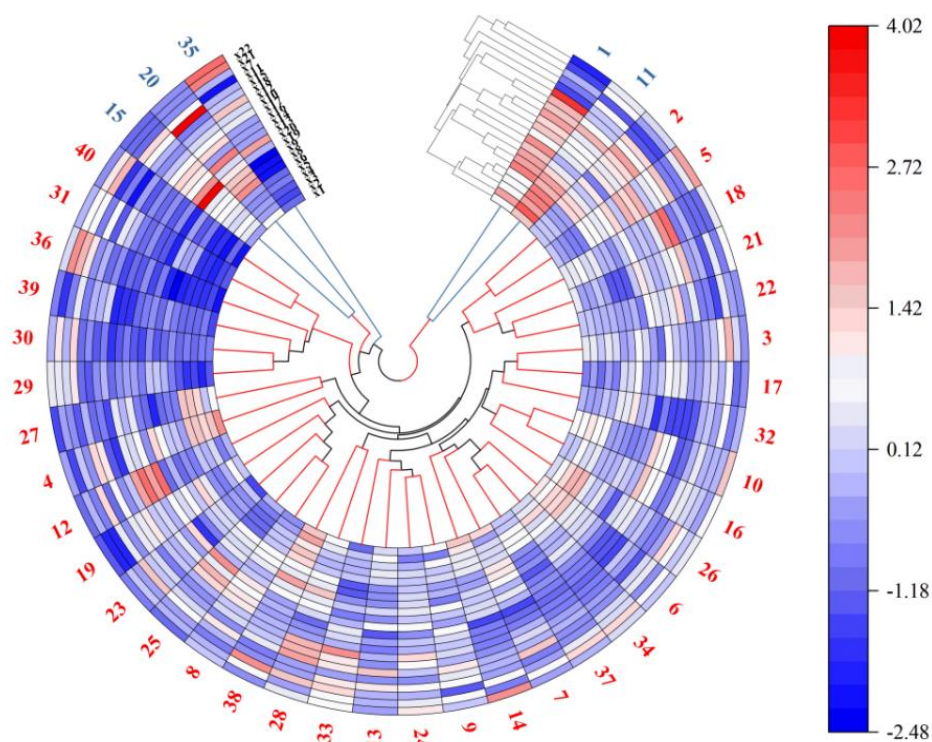
Table3.8 Principal component factor scores of strawberry

序号	主成分得分						综合得分 Y	排序
	Y <sub>1</sub>	Y <sub>2</sub>	Y <sub>3</sub>	Y <sub>4</sub>	Y <sub>5</sub>	Y <sub>6</sub>		
1	5.797	0.31	-0.93	2.376	-2.541	0.222	196.354	1
15	4.079	-2.095	0.52	-0.265	0.048	1.613	123.295	2
11	3.174	-0.609	-0.221	0.913	2.06	-0.86	115.665	3
20	4.612	-3.339	-0.231	-2.25	2.067	-0.164	100.069	4
2	2.685	2.006	-1.043	-0.772	0.548	-1.298	97.763	5
5	2.454	0.779	0.084	-1.957	1.088	1.117	93.679	6
28	1.44	2.19	-1.781	2.457	-0.032	0.673	87.603	7
19	2.642	-0.696	0.336	1.153	-0.63	-1.692	79.071	8
18	0.773	3.223	0.214	0.192	0.22	-2.214	65.165	9
24	0.717	0.675	0.7	1.153	1.258	0.037	62.966	10
25	2.38	-2.793	1.606	-0.669	-0.443	0.038	49.824	11
33	-0.773	1.459	1.614	2.302	0.993	0.396	44.973	12
12	1.418	-3.16	4.503	0.269	-1.446	-0.154	44.908	13
8	2.005	-1.15	0.423	-1.483	0.423	-0.723	41.46	14
9	0.235	0.092	1.197	0.172	0.788	0.43	33.568	15
21	-0.826	2.989	0.977	-0.298	-0.778	-0.171	16.968	16
13	-0.328	-0.712	1.305	1.605	-0.461	0.637	8.966	17
38	0.275	0.31	-2.351	1.174	-0.857	1.549	1.215	18
16	0.27	-0.902	0.719	-1.117	-0.271	1.094	-0.939	19

### 3.4 草莓果实品质指标聚类分析

表 3.1、3.2、3.3、3.4 和图 3.1 中的数据经过极差标准化变换后，将 40 个草莓园 22 个品质指标进行聚类分析，聚类结果如图 3.2 所示。40 个草莓园聚为 6 类：1 号单独聚为第 I 类，其草莓 5 个植株指标和果实的单果重、横纵经、风味指标和维生素 C 含量较优；11 号单独聚为第 II 类，其草莓植株指标和果实的单果重、横纵经、可溶性糖含量较优；35 号草莓园单独聚为第 III 类，草莓果实具有总酚和花青素含量高、甜酸比和固酸比大的特点；15 号和 20 号草莓园聚为第 IV 类，其总酸度、蔗糖、果糖、葡萄糖、总甜度、甜酸比和固酸比较高；29 号、30 号、31 号、36 号、39 号、40 号草莓园聚为第 V 类，这 6 个草莓园总酚含量和果形指数较优；其余 29 个草莓园聚为第 VI 类。聚类分析法筛选出的 1 号、11 号、15 号、20 号和 35 号草莓园草莓果实品质较优。其中 1 号、11 号、15 号、20 号主成分分析综合得分排名靠前的草莓园，在本次聚类分析中分别位于第 1、第 3、第 2 和第 4 位，35 号草莓园草莓果实排在第 20 位，这与总酚和花青素含量较高有关。综上所述说明聚类分析与主成分分析结果一致性较高，可以有效地筛选品质优异草莓园。

22 个品质指标聚为 7 类，其中第 I 类指标包括 5 个植株指标、单果重、横纵经、可溶性固形物和固酸比；第 II 类指标包括蔗糖、果糖、总甜度和甜酸比；第 III 类指标包括可溶性糖、糖酸比、维生素 C；葡萄糖单独为第 IV 类；总酸度单独为第 V 类；果形指数单独为第 VI 类；第 VII 类指标包括总酚和花青素。从聚类分析结果来看，与主成分分析结果一致性较高，研究区草莓园草莓果实多数指标之间存在相关性。



其中 X1-X22 分别对应：X1-株高、X2-茎粗、X3-叶长、X4-叶宽、X5-叶面积、X6-单果重、X7-果型指数、X8-横径、X9-纵径、X10-可溶性糖、X11-总酸度、X12-糖酸比、X13-蔗糖、X14-果糖、X15-葡萄糖、X16-总甜度、X17-甜酸比、X18-维生素 C、X19-可溶性固形物、X20-固酸比、X21-总酚、X22-花青素

Where X1-X22 correspond to: X1-plant height, X2-stem thickness, X3-leaf length, X4-leaf width, X5-leaf area, X6-single fruit weight, X7-fruit shape index, X8-transverse diameter, X9-longitudinal diameter, X10-soluble sugar, X11-total acidity, X12-sugar-acid ratio, X13-sucrose, X14-fructose, X15-glucose, X16-total sweetness, X17-sweet to acid ratio, X18-vitamin C, X19-soluble solids, X20-solid to acid ratio, X21-total phenols, X22-anthocyanins

图 3.2 草莓品质指标聚类分析图

Figure 3.2 Cluster analysis of strawberry quality indicators

### 3.5 讨论

草莓果实的重量、大小以及色泽等外观特征，通常是消费者在选购时的重要参考。然而，相较于这些外在的品质，消费者更为关注的是草莓的口感、风味及其营养价值。因此，挑选优质的草莓果实，不仅要观察其外观特征，更应检测其内在的营养品质<sup>[67]</sup>。其中糖酸含量以和甜酸比等指标直接影响草莓果实的酸甜风味，研究表明，只有适宜的糖酸比、甜酸比才会产生最佳的口感<sup>[68]</sup>。

通过对不同地区草莓园之间植株指标的比较，发现各草莓园之间各指标变异

程度大多属于中等水平。在果实指标方面，注意到关键指标如蔗糖和果糖的含量在不同草莓园之间存在明显的差异，变异系数超过了 30%，显示出较大的改良潜力。此外，单果重、可溶性糖、总酸度、可溶性固形物含量和固酸比等风味指标的变异系数介于 10.3%~28.73%之间，这表明草莓果实各指标的多样性非常丰富。这可能与草莓园的种植技术、土壤质量、气候条件等多种因素有关<sup>[69-71]</sup>。尽管存在一定的变异，但这也为草莓的遗传改良提供了可能性，从而提高草莓的品质，也为消费者提供了更多口味和口感的选择<sup>[72]</sup>。

本研究分析方法和结果的可靠性较高。通过主成分分析方法，筛选出了具有优质果实的草莓园和关键指标。前 6 个主成分包含草莓果实大部分信息<sup>[72]</sup>。因此可以选择这 16 个指标作为草莓果实品质综合评价的指标。同时聚类分析也为草莓园的优质种植和品质提升提供了有益的参考<sup>[73]</sup>。陈志敏等<sup>[75]</sup>于我国不同生态环境的 23 个纽荷尔脐橙果园，通过测定果实外观、内在品质指标，运用主成分分析及聚类分析筛选出核心指标建立出综合评价模型。因此在评价草莓果实品质与土壤质量的相关性研究中，为了简便快捷地评价果实，可以从本研究筛选出的核心指标进行分析。

### 3.6 小结

(1) 分析了 40 个草莓园草莓植株指标情况，得出 4 号草莓园草莓植株株高最高，36 号最低；11 号草莓园草莓植株茎粗、叶长、叶宽、叶面积均最大，40 号草莓园草莓植株叶长、叶宽、叶面积均最小。

(2) 分析了 40 个草莓园草莓果实指标情况，得出 1 号草莓园草莓果实单果重、糖酸比、可溶性固形物、固酸比和维生素 C 均最高，甜酸比最高的 18 号草莓园是最低的 30 号草莓园的 3 倍多。对糖组分分析发现除 32 号和 40 号草莓园外，不同草莓园草莓果实糖组分含量均表现为蔗糖含量大于葡萄糖含量和果糖含量。

(3) 对研究区 40 个草莓园草莓植株与果实各指标变异分析发现，研究区草莓各指标多样性丰富，其中糖组分改良潜力最大。

(4) 主成分分析筛选出 18 个草莓果实综合品质优异的草莓园，分别为 1 号、15 号、11 号、20 号、2 号、5 号、28 号、19 号、18 号、24 号、25 号、33 号、12



以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/986242031154011020>