

棚龄对大棚种植黄瓜品质影响的傅里叶变换红外光谱研究

张颜如^{1,2}, 邵鹏帅^{1*}

1. 滨州学院山东省黄河三角洲生态环境重点实验室, 山东 滨州 256603

2. 山东农业大学生命科学学院作物生物学国家重点实验室, 山东 泰安 271018

摘要 蔬菜大棚种植对蔬菜供应发挥着重要的作用, 蔬菜大棚棚龄会影响蔬菜的产量和质量。以不同棚龄(1年、10年和18年)的黄瓜为对象, 利用漫反射傅里叶变换中红外光谱, 通过解析黄瓜的光谱特征峰, 探究棚龄对黄瓜品质的影响。研究表明, 黄瓜的多糖和蛋白质组分在3个棚龄呈现先增加后降低的趋势, 10年棚龄种植的黄瓜多糖和蛋白质组分显著高于1年和18年的黄瓜多糖和蛋白质组分。高的棚龄(即10年和18年)显著增加了黄瓜的木质素组分。木质素组分主要分布于黄瓜皮中, 增加木质素组分会降低黄瓜的食用口感。另外, 黄瓜中各有机组分的比值能综合反映不同棚龄下黄瓜的品质。18年棚龄的黄瓜多糖与蛋白质组分的比值以及多糖与木质素组分的比值低于1年和10年棚龄的黄瓜各有机组分的比值, 表明1年和10年棚龄的黄瓜中碳水化合物和营养物质的比值更加均衡。通过分析黄瓜各有机组分以及黄瓜各有机组分比值随着黄瓜棚龄的变化, 知悉黄瓜棚龄在10年以内时, 对黄瓜品质提升具有促进作用, 但更长的棚龄会抑制黄瓜品质。因此, 综合考虑黄瓜的品质, 建议黄瓜棚龄不宜太长。另外, 通过分析棚龄对黄瓜叶片有机组分的影响, 发现黄瓜叶片各组分与黄瓜各组分的变化趋势相似。线性相关分析指出黄瓜蛋白质和木质素组分分别与黄瓜叶片蛋白质和木质素组分显著正相关, 表明黄瓜叶片在一定程度上能反映黄瓜的营养成分和黄瓜口感。利用红外光谱解析不同棚龄下表征黄瓜品质的有机组分, 为蔬菜大棚管理以及提高蔬菜品质提供了科学依据。

关键词 中红外光谱; 有机组分; 黄瓜品质; 蔬菜大棚; 种植年限

中图分类号: Q14 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3964/j.issn.1000-0593(2022)06-1816-06

引言

黄瓜是我国普遍种植的绿色蔬菜, 以其独特的风味、丰富的营养价值及多样化的食用方式成为人们普遍食用的蔬菜之一。随着人们不断上升的果蔬产量和品质需求, 大棚种植成为了果蔬栽培的新型手段, 相比露天田地种植, 大棚种植可以调节温度和光照, 给蔬菜和瓜果提供良好的生长环境, 能有效缩短生长周期, 提高产量^[1]。然而, 蔬菜大棚栽培具有高复种指数、高集约化和高施肥量等特点, 随着大棚种植年份(棚龄)的增加, 蔬菜大棚土壤出现酸化、养分出现不平衡等诸多问题^[2-3]。因此, 蔬菜大棚棚龄会影响蔬菜(如黄瓜)的生长发育, 导致不同棚龄的大棚生产的蔬菜产量和质量也会不同^[4]。蔬菜品质评价对保障蔬菜的质量至关重要^[5]。蔬菜品质评价技术在蔬菜大棚栽培中被广泛运用, 然

而, 不同棚龄大棚种植的蔬菜品质的评价还需进一步探究。

以前蔬菜品质的研究主要利用化学方法提取蔬菜中的有机物质, 如可溶性蛋白或者总黄酮, 来表征蔬菜的品质^[6]。光谱技术的发展和运用有助于更好地分析和检测蔬菜的有机组分以及评估蔬菜的品质^[7-8]。李天华^[9]利用红外光谱实现了对番茄中番茄红素、维生素C、游离氨基酸总量及可溶性固形物的特征波长筛选和确定。红外光谱分析在苹果品质检测中具有较广泛的应用, 可以对苹果品质进行定量和定性检测^[10]。傅里叶变换中红外光谱可以用来检测无机、有机和有机高分子化合物^[11-12]。红外光谱技术克服了传统的化学分析和人工观察法效率低、成本高等缺点, 检测速度快、消耗少、成本低, 成为了果蔬检测最经济有效的分析技术之一, 也是果蔬品质检测的主要发展方向之一^[12-13]。然而, 关于不同棚龄大棚蔬菜多糖、蛋白质和木质素等组分的差异及其品质评估却鲜有研究, 而这正是指导温室大棚科学管理和设施蔬菜

收稿日期: 2021-11-03, 修订日期: 2022-01-21

基金项目: 山东省自然科学基金项目(ZR2020QD004)和国家自然科学基金项目(32101387)资助

作者简介: 张颜如, 女, 1997年生, 山东农业大学生命科学学院硕士研究生 e-mail: 1768642135@qq.com

* 通讯作者 e-mail: pshshao@163.com

产业可持续发展的关键因素。

以山东省寿光市不同棚龄的黄瓜为研究对象,利用漫反射傅里叶变换中红外光谱技术,通过解析黄瓜的光谱特征峰,探究棚龄对黄瓜品质的影响。本研究的预期目标为:(1)比较不同棚龄下黄瓜有机碳和总氮含量的差异;(2)分析棚龄对黄瓜多糖、蛋白质和木质素等组分的影响;(3)探究黄瓜各组分与黄瓜碳氮、黄瓜叶片各组分之间的关系,明确影响黄瓜品质的主要因素。

1 实验部分

1.1 蔬菜大棚概况和试验设计

山东省寿光市(117°59'E, 37°23'N)具有较大面积的蔬菜大棚种植,是中国重要的蔬菜种植区,保障了中国的蔬菜供应。该地区年平均温度大约 12.4℃,年平均降雨量大约 600 mm,主要集中在 6—9 月份。该地种植的蔬菜主要为黄瓜,供试黄瓜品种为华北性黄瓜。根据黄瓜大棚的建设时间,我们选取了三个不同棚龄的黄瓜大棚:1 年、10 年和 18 年。

1.2 样品采集和处理

在 2020 年 12 月进行黄瓜和叶片的采集。在每个大棚随机采集 10 个黄瓜和 10 片黄瓜叶,65℃烘干后,全部放在粉碎机进行粉碎,均匀混合成一个样品,一共 9 个黄瓜样品和 9 个黄瓜叶片样品。取部分样品用小研磨机再次研磨,过 0.15 mm 筛后用于测定黄瓜和叶片的碳氮含量并进行中红外光谱测定。

1.3 测定指标

1.3.1 黄瓜总碳、氮含量

称取研磨过 0.15 mm 筛的黄瓜样品约 10 mg,在元素分析仪(Elementar vario EL III)测定黄瓜的总碳、氮含量。

1.3.2 黄瓜有机组分

利用漫反射傅里叶变换中红外光谱仪(diffuse reflectance Fourier transform mid-infrared spectroscopy, FTIR)测定和分析黄瓜的各有机组分,来表征黄瓜的品质。将研磨过 0.15 mm 筛的黄瓜样品与 97% 的溴化钾(光谱纯)以一定的比例(黄瓜样品:溴化钾=1:80 W/W)在玛瑙研钵中研磨并混合均匀,用压片机进行压片。添加溴化钾的目的是减弱测定时的光散射。首先,测定空气的红外光谱,从测得的样品红外光谱减去空气的红外光谱得到真正的样品红外光谱。制得的压片在 Thermo Nicolet 6700 红外光谱仪(Thermo Electron Scientific Instruments Corp., Madison, WI, USA)上测定样品的透射光谱(4 000~400 cm⁻¹),在 4 cm⁻¹的分辨率下扫描 64 次。红外光谱测得一些常用特征峰:3 400 cm⁻¹, O—H 伸缩振动以及 N—H 伸缩振动;2 930 和 2 850 cm⁻¹, 脂肪族碳组分;1 620 cm⁻¹, 芳香族碳组分以及 NH(酰胺 II)组分;1 545 和 1 515 cm⁻¹, 木质素结构;1 420 cm⁻¹, 多糖以及蛋白质 CH₂ 的弯曲振动;1 370 cm⁻¹, 矿物;1 050 cm⁻¹, 多糖或者碳水化合物^[14]。我们选取了 4 个特征峰(即 1 550, 1 420, 1 233 和 1 050 cm⁻¹),计算出单个特征峰的相对峰面积(rA, %),即相对峰面积=单个峰面积/4 个特征峰的总面积。不同的特征峰用来评估黄瓜的有机组分:木质素

组分(1 550 和 1 233 cm⁻¹)、蛋白质组分(1 420 cm⁻¹)以及多糖组分(1 050 cm⁻¹)。

1.4 统计分析

在 SAS V.8.1 软件(SAS Institute Inc., Cary, NC, U. S. A)上执行单因素方差分析和 LSD 多重比较,分析不同棚龄下黄瓜总碳、氮含量,多糖、蛋白质以及木质素组分的变化。线性相关分析用来评估黄瓜各组分与黄瓜总碳、氮以及黄瓜叶片各组分之间的关系。

2 结果与讨论

2.1 不同棚龄对黄瓜有机碳和总氮含量的影响

不同棚龄显著影响了黄瓜有机碳和总氮含量(图 1)。相对于 10 年和 18 年,1 年的蔬菜大棚黄瓜 [$F=46.33, p<0.001$; 图 1(a)] 具有更高的有机碳含量。黄瓜的总氮含量与有机碳含量的变化不同。相对于 1 年和 10 年,18 年大棚种植的黄瓜具有更高的总氮含量 [$F=10.51, p=0.01$; 图 1(b)], 这可能归因于更长的黄瓜棚龄施用了更多的氮肥,以保证黄瓜的产量,导致黄瓜中较高的总氮含量^[15-16]。然而,大量肥料的施用虽然增加了黄瓜的总氮含量,但降低了黄瓜的总碳含量,可能会影响黄瓜的品质。

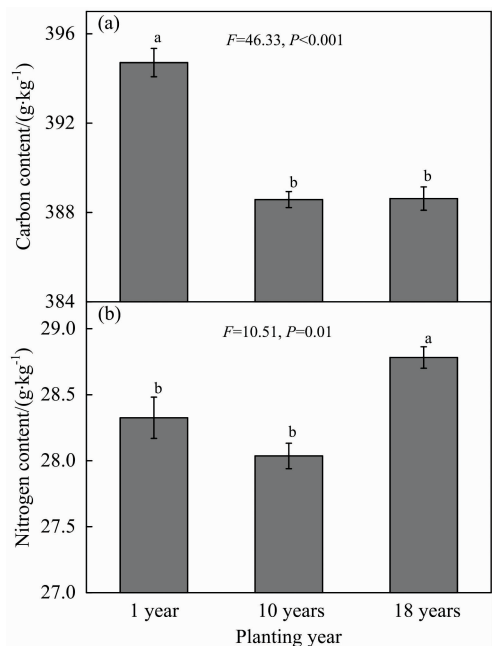


图 1 蔬菜大棚棚龄对黄瓜总碳(a)和总氮(b)含量的影响
Fig. 1 Effects of planting year on the carbon contents (a) and nitrogen contents (b) in cucumbers

2.2 不同棚龄对黄瓜品质的影响

2.2.1 不同棚龄下黄瓜的红外光谱解析

黄瓜样品的红外吸收光谱(图 2)显示 1 年、10 年以及 18 年棚龄大棚种植的黄瓜的红外吸收光谱并不完全吻合,表明棚龄对黄瓜的有机组分产生了影响。其中 1 550 和 1 233 cm⁻¹为木质素组分吸收特征峰,1 420 cm⁻¹为蛋白质组分吸收特征峰,1 050 cm⁻¹为多糖吸收特征峰(图 2)。红外光谱以

及红外光谱特征峰能反映蔬菜的品质^[7]。多糖和蛋白质也是衡量果蔬品质的重要标准之一^[17-18]。木质素主要存在于黄瓜果皮中，木质素在黄瓜中的含量会影响黄瓜的食用口感^[19]。

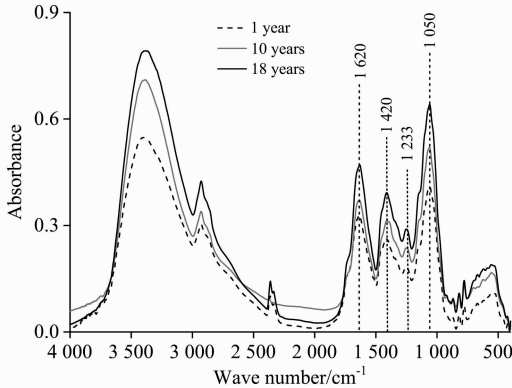


图 2 不同棚龄大棚种植的黄瓜的光谱

Fig. 2 Mid-IR spectra of cucumbers growing in the greenhouses with different planting years

2.2.2 不同棚龄下黄瓜多糖、蛋白质和木质素组分相对含量的变化

不同棚龄显著影响了黄瓜多糖、蛋白质和木质素组分的相对含量(图 3)。黄瓜的多糖相对含量在 3 个棚龄呈现先增加后降低，10 年棚龄的黄瓜的多糖相对含量显著高于 1 年和

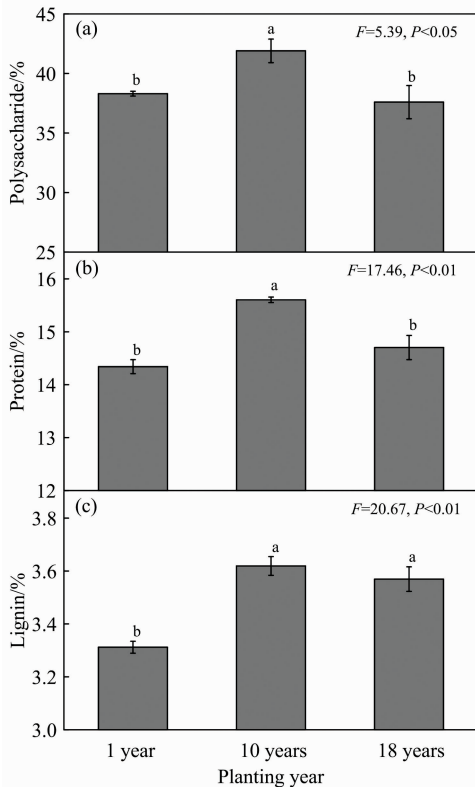


图 3 不同棚龄对黄瓜多糖(a)、蛋白质(b)和木质素(c)组分相对含量的影响

Fig. 3 Effects of planting years on the relative contents of polysaccharide (a), protein (b), and lignin (c) in cucumbers

18 年 $[F=5.39, p<0.05; \text{图 } 3(a)]$ 。高的多糖在一定程度上反映高的黄瓜品质。新的大棚黄瓜品质偏低，随着棚龄的增加，黄瓜的品质在提升，可以归因于逐渐稳定的土壤性质^[20-21]。另外，随着黄瓜棚龄的继续增加，黄瓜品质开始降低，可能由于土壤质量的下降(如土壤中具有更多的线虫、土壤酸化等)^[22]。

随着棚龄的增长，黄瓜蛋白质组分的相对含量变化趋势为先增高后降低。10 年棚龄的黄瓜蛋白质组分的相对含量显著高于 1 年和 18 年的黄瓜蛋白质组分的相对含量 $[F=17.46, p<0.01; \text{图 } 3(b)]$ 。虽然黄瓜中蛋白质的含量相对较少，但蔬菜中蛋白质含量的增加能指示蔬菜具有高的营养价值。10 年棚龄的黄瓜含有更高的蛋白质组分，表明合适的棚龄有利于黄瓜品质和营养价值的提高。

1 年棚龄的黄瓜木质素组分的相对含量显著低于 10 年和 18 年的黄瓜木质素组分的相对含量 $[F=20.67, p<0.01; \text{图 } 3(c)]$ 。黄瓜的木质素组分主要集中于黄瓜果皮中，较高的木质素含量会影响黄瓜果实的口感。因此，较长棚龄的黄瓜，在食用的时候建议削去黄瓜表皮，增强其食用口感。

2.2.3 黄瓜有机组分间的比值对棚龄的响应

黄瓜中各有机组分的比值能综合反映不同棚龄下黄瓜的品质。多糖和蛋白质组分的比值可以表征黄瓜中碳水化合物和营养物质之间的均衡，多糖与木质素组分的比值能指示黄瓜的口感。相对于 1 年和 10 年棚龄种植的黄瓜，18 年棚龄种植的黄瓜多糖和蛋白质组分的比值以及多糖与木质素组分的比值具有降低的趋势(图 4)。表明，更长时间的蔬菜大棚抑

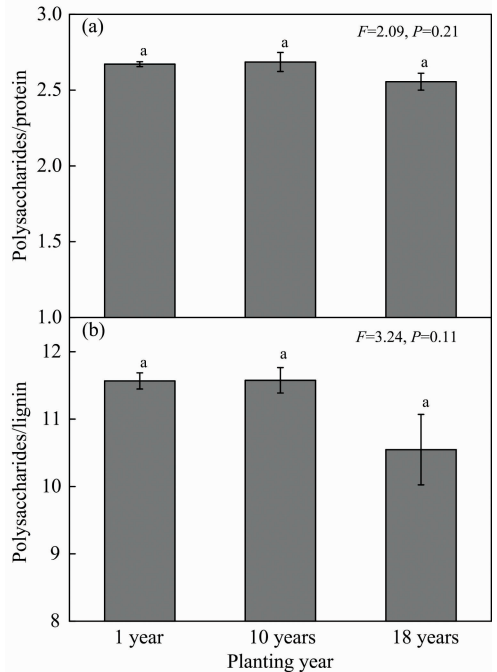


图 4 不同棚龄对黄瓜多糖组分/蛋白质组分(a)和多糖组分/木质素组分(b)的影响

Fig. 4 Effects of planting years on polysaccharide/protein (a) and polysaccharide/lignin components (b) in vegetable cucumbers

制了黄瓜的品质,可能归因于低的土壤质量。较高的棚龄会导致土壤 pH 和有机质的降低、但氮磷等元素的增加,致使土壤营养的失衡^[23],进而会导致蔬菜品质的下降。

2.2.4 不同棚龄下黄瓜叶片中多糖、蛋白质和木质素组分相对含量的变化

不同棚龄导致黄瓜叶片中多糖、蛋白质和木质素组分的相对含量发生显著改变(表 1)。1 年棚龄种植的黄瓜叶片的多糖组分相对含量高于 10 年和 18 年棚龄($F=7.89$, $p=0.02$); 10 年棚龄的黄瓜叶片蛋白质组分的相对含量显著高于 1 年和 18 年的蛋白质组分的相对含量($F=5.73$, $p=0.04$); 另外, 1 年棚龄的黄瓜叶片木质素组分的相对含量显著低于 10 年和 18 年的木质素组分相对含量($F=14.83$, $p<0.01$)。以前的研究分析了蔬菜棚龄与植株生长发育间的关系,发现叶片数、株高以及叶面积随着棚龄的增长出现先高后低的趋势,叶片中可溶性糖和可溶性蛋白质随着棚龄的增加也表现出先高后低的变化规律^[4]。植物叶片是植物的重要营养器官,是进行光合作用的主要部位^[24-25],因此,黄瓜叶片的特性和有机组分会影响黄瓜的产量并反映黄瓜的品质。

表 1 蔬菜大棚棚龄对黄瓜叶片多糖、木质素和蛋白质组分的影响

Table 1 Effects of planting years on the relative contents of polysaccharide, protein, and lignin components in cucumber leaves

黄瓜叶片 有机组分	棚龄			统计值	
	1 年	10 年	18 年	<i>F</i>	<i>p</i>
多糖组分/%	24.23±0.29 ^a	21.14±0.22 ^b	22.77±0.88 ^{ab}	7.89	0.02
蛋白质组分/%	14.75±0.17 ^{ab}	16.12±0.50 ^b	13.90±0.62 ^a	5.73	0.04
木质素组分/%	10.34±0.30 ^b	12.24±0.14 ^a	12.02±0.33 ^a	14.83	<0.01

注:不同的上标字母表征显著性差异($p<0.05$)

Note: Different superscript letters in the same row indicate significant differences at $p<0.05$

2.3 不同棚龄下黄瓜各参数间的相关性

2.3.1 黄瓜有机组分与黄瓜叶片有机组分之间的关系

通过分析不同棚龄的黄瓜有机组分与黄瓜叶片有机组分间的相关性,探究黄瓜叶片是否能反映黄瓜品质(图 5)。在不同棚龄的蔬菜大棚中,黄瓜的多糖组分与黄瓜叶片的多糖组分间的相关性不大 [$R^2=0.08$, $p>0.05$; 图 5(a)]; 黄瓜蛋白质组分与黄瓜叶片蛋白质组分之间存在显著的正相关 [$R^2=0.48$, $p=0.04$; 图 5(b)]; 黄瓜木质素组分也存在显著正相关 [$R^2=0.80$, $p<0.01$; 图 5(c)]。黄瓜有机组分与黄瓜叶片有机组分间的相关性结果表明黄瓜叶片在一定程度上能反映黄瓜果实的营养成分以及黄瓜果实的口感。

2.3.2 黄瓜有机组分间的比值与其总碳、氮含量间的关系

线性回归分析的结果显示,不同棚龄下黄瓜多糖与木质素组分的比值与其碳含量之间没有相关性 [$R^2=0.06$, $p>0.05$; 图 6(a)],表明黄瓜有机碳含量的变化可能不会影响黄瓜的品质和口感。另外,黄瓜多糖和蛋白质组分的比值与其总氮含量呈显著负相关 [$R^2=0.64$, $p=0.01$; 图 6(b)],表明黄瓜总氮含量的增加能提高黄瓜的营养价值。

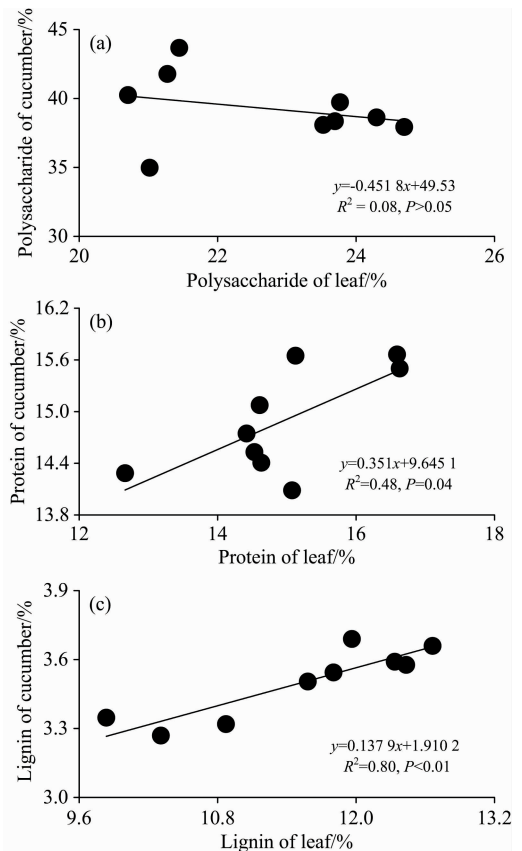


图 5 黄瓜有机组分与黄瓜叶片有机组分间的关系
(a): 多糖组分相关性; (b): 蛋白质组分相关性;
(c): 木质素组分相关性

Fig. 5 Linear regression between organic components in cucumber and in cucumber leaf

(a); Polysaccharide; (b); Protein; (c); Lignin components

3 结 论

利用中红外光谱探究不同棚龄的黄瓜和叶片有机组分的变化规律和差异,明确棚龄是否会影响黄瓜的品质。研究发现黄瓜多糖和蛋白质组分在 3 个棚龄呈现先增加后降低的变化趋势,种植在 10 年棚龄大棚的黄瓜多糖和蛋白质组分显著高于 1 年和 18 年,表明 10 年棚龄的蔬菜大棚提高了黄瓜的品质和营养价值。但更高的棚龄增加了黄瓜的木质素组分,会降低黄瓜的食用口感。研究表明适宜的棚龄有利于提高黄瓜的品质和营养价值。不同棚龄下黄瓜多糖与木质素组分的比值以及多糖与蛋白质组分的比值综合反映了黄瓜的品质,并且黄瓜氮含量的增加有利于黄瓜的营养价值。另外,黄瓜各有机组分与黄瓜叶片的各有机组分存在显著相关性,表明黄瓜叶片在一定程度上能反映黄瓜果实的营养成分以及黄瓜果实的口感。通过探究不同棚龄下表征黄瓜品质的有机组分,为蔬菜大棚管理以及提高蔬菜品质提供了科学参考。

棚龄在 10 年以内,黄瓜的品质随着种植年限的增长呈现增加的趋势,但从第 10 年到第 18 年,黄瓜的品质随着棚龄的增长呈现下降的趋势。由此可知,棚龄大于 10 年后,大

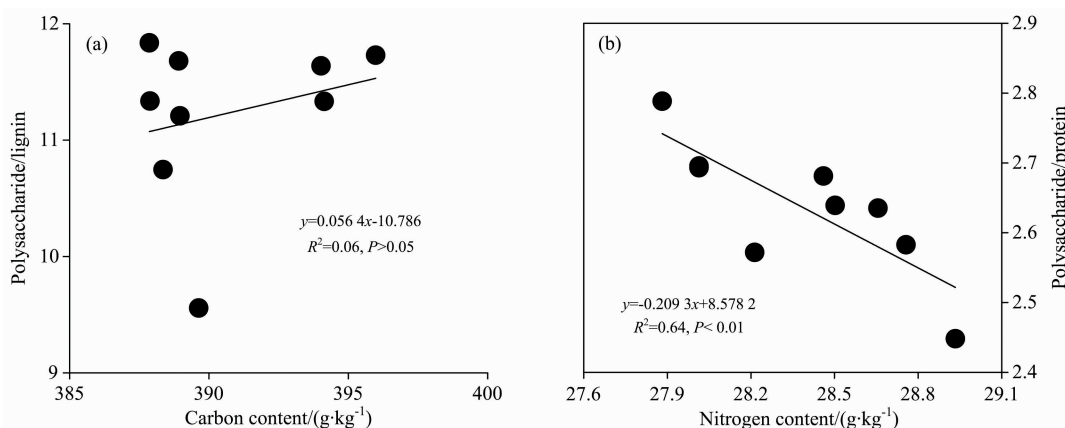


图 6 黄瓜有机组分间的比值与其总碳、氮含量间的关系

(a): 黄瓜多糖组分与木质素组分的比值与黄瓜总碳含量的相关性; (b): 黄瓜多糖组分与蛋白质组分的比值与黄瓜总氮含量的相关性

Fig. 6 Linear regressions between the ratio of cucumber organic components and the contents of carbon and nitrogen in cucumbers

(a): Polysaccharide/lignin with carbon content; (b): Polysaccharide/protein with nitrogen content

棚种植反而会对果蔬品质产生负面影响, 因此棚龄不宜太长。大棚种植使用的肥料往往用量很大, 虽然能够提高产量, 但是会对果蔬品质产生影响, 因此在农业生产中要合理

施肥, 增加有机肥料和绿肥施用的比例。另外, 还需要结合先进的蔬菜大棚管理技术和菜田实验提高大棚的使用年限并保障蔬菜的产量和品质。

References

- [1] MA Jun-li(马俊利). The Farmers Consultant(农家参谋), 2021, 5: 67.
- [2] ZENG Xi-bai, BAI Ling-yu, SU Shi-ming, et al(曾希柏, 白玲玉, 苏世鸣, 等). Acta Ecologica Sinica(生态学报), 2010, 30(7): 1853.
- [3] Hu W, Zhang Y, Huang B, et al. Chemosphere, 2017, 170: 183.
- [4] ZHU Yu-qing, WANG Jun(朱余清, 王 军). Jiangsu Agricultural Sciences(江苏农业科学), 2012, 40(9): 152.
- [5] YUE Huan-fang, WANG Ke-wu, MENG Fan-yu, et al(岳焕芳, 王克武, 孟范玉, 等). Vegetables(蔬菜), 2020, (9): 45.
- [6] LI Zheng-pu, TONG Jing, WANG Li-ping, et al(李政璞, 佟 静, 王丽萍, 等). China Vegetables(中国蔬菜), 2020, (12): 56.
- [7] Aykas D P, Borba K R, Rodriguez-Saona L E. Foods, 2020, 9(9): 1300.
- [8] WANG Dong, WU Jing-zhu, HAN Ping, et al(王 冬, 吴静珠, 韩 平, 等). Spectroscopy and Spectral Analysis(光谱学与光谱分析), 2021, 41(5): 1593.
- [9] LI Tian-hua, CHEN Gong-fei, LIU Guang-wei, et al(李天华, 陈龚飞, 刘光伟, 等). Computers and Applied Chemistry(计算机与应用化学), 2014, 31(4): 494.
- [10] ZHANG Peng, LI Jiang-kuo, CHEN Shao-hui(张 鹏, 李江阔, 陈绍慧). Storage and Process(保鲜与加工), 2013, 13(3): 1.
- [11] GAO Meng-chao, MI Chun-li, SHI Yi(高孟朝, 米春利, 施 怡). China Food Safety Magazine(食品安全导刊), 2018, (33): 67.
- [12] Calderón F, Haddix M, Conant R, et al. Soil Science Society of America Journal, 2013, 77: 1591.
- [13] ZHU Yi(朱 熠). China Food Safety Magazine(食品安全导刊), 2021, (9): 180.
- [14] Suseela V, Tharayil N, Xing B, et al. New Phytologist, 2013, 200: 122.
- [15] HE Xiao-qin, ZHANG Yong-qing, YAN Jiao, et al(贺小琴, 张永清, 闫 姣, 等). Journal of Agriculture(农学学报), 2014, 4(8): 43.
- [16] DU Qing-jie, YANG Ya-yong, ZHANG Jia-xin, et al(杜清洁, 杨亚勇, 张嘉欣, 等). Journal of China Agricultural University(中国农业大学学报), 2021, 26(7): 45.
- [17] YU Li-mei, LIU Xiao-jing, NONG Zhong-wen, et al(于立梅, 刘晓静, 农仲文, 等). Modern Food Science and Technology(现代食品科技), 2017, 33(11): 70.
- [18] XUE Shu-dan, XIE Da-sen, WAN Xiao-tong, et al(薛舒丹, 谢大森, 万小童, 等). Guangdong Agricultural Sciences(广东农业科学), 2021, 48(9): 142.
- [19] Figueroa N E, Gatica-Meléndez C, Figueroa C R. Food Chemistry, 2021, 358: 129913.
- [20] YAN Geng-wu, FAN Bing-quan(闫庚戌, 范丙全). Soil and Fertilizer Sciences in China(中国土壤与肥料), 2019, (4): 187.
- [21] ZHU Hai-yan, LI Ting-ting(祝海燕, 李婷婷). China Cucurbits and Vegetables(中国瓜菜), 2019, 32(5): 45.
- [22] CAO Jian-ting, YANG Hong, PENG Yan, et al(曹舰艇, 杨 红, 彭 艳, 等). Journal of Northwest A&F University • Natural Science Edition(西北农林科技大学学报 • 自然科学版), 2019, 47(8): 117.
- [23] NING De-fu, KONG Li-qiong, TANG Na, et al(宁德富, 孔丽琼, 汤 娜, 等). Journal of Sichuan Agricultural University(四川农业大

学学报), 2016, 34(1): 67.

[24] DUAN Hui-min, LU Xiao, ZHOU Xiao-jie, et al(段惠敏, 卢 潇, 周晓洁, 等). *Crops(作物杂志)*, 2021, (1): 160.

[25] WU Yang, YAO Xiao-hua, HE Zheng-sheng, et al(吴 杨, 姚小华, 何正盛, 等). *Journal of Zhejiang University · Agriculture and Life Sciences(浙江大学学报 · 农业与生命科学版)*, 2021, 47(2): 147.

Study on the Effects of Planting Years of Vegetable Greenhouse on the Cucumber Qualities Using Mid-IR Spectroscopy

ZHANG Yan-ru^{1,2}, SHAO Peng-shuai^{1*}

1. Shandong Key Laboratory of Eco-Environmental Science for the Yellow River Delta, Binzhou University, Binzhou 256603, China
2. College of Life Science, Shandong Agricultural University, Taian 271018, China

Abstract Greenhouse vegetable cultivation plays a crucial role in global vegetable supply. The planting year of vegetable greenhouses greatly affects vegetable yield and quality, whereas the study on vegetable quality using infrared spectroscopy is still unclear. Therefore, the mid-IR spectroscopy was used to detect how planting year of vegetable greenhouses (i. e. , 1 year, 10 years, and 18 years) influenced cucumber quality by analyzing the specific peaks of cucumber fruits and leaves. In our study, the polysaccharides and protein components in cucumber fruits initially increased (the highest in 10 years) and subsequently decreased during the progression of the planting year. Raising planting years (i. e. , 10 years and 18 years) increased lignin components of cucumber fruits (mainly in cucumber peel), which reduced the cucumber's taste. In addition, the ratio of organic components in cucumber can reflect cucumber quality under different greenhouse planting years. Polysaccharide/protein components and polysaccharide/lignin components in 18 years were significantly lower than those in 1 year and 10 years, implying that cucumbers of 1 year and 10 years had well-balanced carbohydrates and nutrients. Our finding suggests that short-term planting years (e. g. , within 10 years) can improve cucumber quality, but long-term planting years inhibit cucumber quality. Therefore, comprehensively considering cucumber quality, we suggested that the planting year of the cucumber greenhouse should not be too long. Additionally, the organic components of cucumber leaves showed a similar trend to organic cucumber components across greenhouse planting years. Linear regression analysis demonstrated that cucumber fruits' protein and lignin components were positively associated with the protein and lignin components of cucumber leaves, which indicated that cucumber leaves might represent the nutrient and taste cucumber fruit. Overall, this study revealed the changes in organic cucumber components by mid-IR spectroscopy paralleled changed cucumber quality, providing scientific evidence for vegetable greenhouses management and improving vegetable quality.

Keywords Mid-IR spectroscopy; Organic compounds; Cucumber quality; Vegetable greenhouse; Planting years

(Received Nov. 3, 2021; accepted Jan. 21, 2022)

* Corresponding author