

酸雨胁迫对双低油菜籽粒品质的影响

梁骏¹, 郑有飞^{2*}, 麦博儒² (1. 广西大学农学院, 广西南宁 530004; 2. 南京信息工程大学环境科学与工程学院, 江苏南京 210044)

摘要 [目的]研究酸雨对双低油菜各项品质指标的作用,为生态环境对农产品品质调控及防治酸雨对农作物危害提供科学依据。[方法]以秦优七号双低油菜为供试品种,通过大田模拟酸雨喷淋试验,研究酸雨胁迫后双低油菜籽粒中硫苷和芥酸含量以及各项品质指标的动态变化。[结果]随着酸雨酸度的增加,双低油菜籽粒中硫苷、芥酸、亚油酸和花生酸含量则相应升高;而双低油菜籽粒蛋白质、氨基酸、粗脂肪、可溶性糖、硬脂酸和油酸等含量则相应降低;双低油菜籽粒还原糖、总酸度和亚麻酸等含量随酸雨 pH 值降低呈先升后降的变化。酸雨 pH 值 ≤ 3.5 ,双低油菜硫苷含量 $\geq 25.0 \mu\text{mol/g}$,芥酸含量 $\geq 0.30\%$,质量变差;酸雨 pH 值 ≤ 1.5 ,硫苷含量 $\geq 30.0 \mu\text{mol/g}$,芥酸含量 $\geq 0.40\%$,超过国家质量标准要求而不能进入市场。[结论]酸雨对双低油菜籽粒品质下降有重要的影响。

关键词 酸雨;双低油菜;品质;影响

中图分类号 S565.4 文献标识码 A 文章编号 0517-6611(2009)26-12467-04

Effect of Acid Rain on the Quality of Double-low Rapeseed

LIANG Jun et al (College of Agriculture, Guangxi University, Nanning, Guangxi 530004)

Abstract [Objective] The scientific basis of the regulation of agricultural product quality and the control of acid rain impacting the crop quality was provided based on the ecological environmental management through the study the effect acid rain on the indicators of double low rapeseed quality. [Method] The double-low rapeseed variety Qinyou No. 7 being taken as experimental material, the experiment in the simulated acid rain in field grown with the variety was conducted and the content of glucosinolate and erucic acid and other indexes, affecting the quality of double-low rapeseed were studied under the stress of acid rain. [Results] With the acidity-increasing of acid rain, the content of glucosinolate, erucic acid, linoleic acid and arachidic acid in rapeseed grain was increased, but the content of protein, amino acid, crude fat, soluble sugar, stearin acid and oleic acid was reduced. The content of the reduced sugar, total acidity and the linolenic acid in double-low rapeseed grain was firstly increased and then reduced with the variation of pH value of acid rain. The content of glucosinolate was $\geq 25.0 \mu\text{mol/g}$ in double-low rapeseed grain while the pH value of acid rain was ≤ 3.5 and erucic acid, $\geq 0.30\%$, which product was bad quality. While the pH value of acid rain was ≤ 1.5 , the content of glucosinolate was $\geq 30.0 \mu\text{mol/g}$ and erucic acid, $\geq 0.40\%$, which product was not sold as food product in market because its quality index was not met by the demand of the national quality standards. [Conclusion] The acid rain resulted in the heavy quality-declining of double-low rapeseed grain.

Key words Acid rain; Double-low rape; Quality; Effect

随着酸雨研究的深入,酸雨对农作物品质形成的影响开始逐渐受到人们的关注^[1],开展酸雨对农产品品质影响研究对农业经济发展具有重要的作用^[2]。双低油菜 (*Brassica napus* L.) 是指菜籽油中芥酸 (Erucic acid) 和硫代葡萄糖苷 (Glucosinolates, GIs, 简称硫苷) 含量低的油菜。自 1974 年第一个甘蓝型双低油菜 B1napus 在加拿大育种成功后,双低优质油菜种植开始在全球范围内推广^[3]。2000 年,国家农业部规定,双低优质油菜芥酸含量不得高于 1.00%,硫苷含量不得高于 $30.0 \mu\text{mol/g}$ ^[4]。南京市是我国双低优质油菜高产栽培的主要示范区之一,该地的双低优质油菜生产在国民经济发展和对外贸易中均占据着重要的地位^[5]。而该地也是持续酸雨较为严重的地区,高密度高强度的酸雨环境条件对该地的双低优质油菜品质均产生较大的影响^[6]。在以往的酸雨对双低油菜品质的影响研究中,国内外不少学者虽作过大量的探讨,但均是从微生物和其他环境因子的影响入手,对酸雨沉降的作用影响报道还较为少见^[7-9]。当前,在全面、协

调、可持续农业发展过程中,酸雨对农产品品质的影响已成为主要的研究课题之一。为此,笔者以南京地区为例,通过对酸雨胁迫对双低油菜产品品质影响的分析,弄清酸雨影响双低油菜品质形成的机理,为双低油菜栽培区内农田生态环境的改善,以及双低油菜优质丰产栽培和品质效益的提高提供科学的参考依据。

1 材料与方法

1.1 材料 供试材料为秦优七号双低油菜品种,由陕西省杂交油菜研究中心研发,为当地农民广泛栽种品种。

1.2 方法

1.2.1 模拟酸雨配制。根据南京市酸沉降水平,同时参考环保局提供的酸雨资料,通过 H_2SO_4 和 HNO_3 溶液(浓度比 5:1)调配,最后用 PHS-25B 型酸度计(上海精密科学仪器有限公司)校准。pH 值分别为 1.5、2.5、3.5、4.5,以 pH 值 5.6 的模拟酸雨为对照(CK),各离子成分见表 1。

表 1 模拟酸雨离子成分

Table 1 The composition of simulated acid rain

pH 值	pH value	F ⁻	Cl ⁻	NO ₂ ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	NH ₃ ⁺	Na ⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺
1.5		0.091	0.092	0.025	0.368	0.456	0.122	0.092	0.031	0.092	0.195
2.5		0.085	0.114	0.025	0.325	0.453	0.170	0.105	0.037	0.074	0.178
3.5		0.078	0.094	0.024	0.366	0.651	0.163	0.084	0.035	0.097	0.158
4.5		0.066	0.091	0.021	0.135	0.483	0.114	0.095	0.041	0.108	0.248
5.6(CK)		0.078	0.132	0.028	0.153	0.632	0.267	0.091	0.066	0.115	0.325

基金项目 国家重点基础研究发展规划(973)项目(2006CB403705);国家自然科学基金项目(40775072);广西大学博士基金项目(X081083)。

作者简介 梁骏(1957-),男,广西北海人,博士,副教授,从事农业生态与环境方面的研究。*通讯作者,E-mail:zhengyf@nuist.edu.cn。

收稿日期 2009-05-11

1.2.2 样地设计与处理。参照鲁显楷等的类似试验研究设计^[10],于 2005 年 9 月中旬在南京信息工程大学北门外 200 m 处的试验田中按照完全随机区组设计原则建立 21 个小区(4.0 m × 2.5 m),小区之间留有 0.5 m 左右的缓冲区,以防

干扰。21个小区分属5个处理组,分别为对照(CK;pH值5.6),超强酸雨(AR1;pH值1.5),强酸雨(AR2;pH值2.5),次强酸雨(AR3;pH值3.5),弱酸雨(AR4;pH值4.5),每个处理组分3个重复。从3叶期起,用小型喷雾器按自然降水规律按重复每隔10d分别喷淋5种酸雨,每次以叶片滴液为限(避免改变土壤pH值)。田间管理按常规生产方式进行,收获后将双低油菜果荚脱粒烘干处理,然后分别测定其籽粒中各品质指标的含量。

1.2.3 测定方法。油菜籽硫苷和芥酸含量根据中华人民共和国农业行业标准 NY/T792-2004 方法,采用 NYDL-2000 优质油菜速测仪(杭州托普仪器有限公司)进行测定。游离氨基酸总量、可溶性蛋白质含量、粗脂肪含量、可溶性糖含量、还原性糖含量参照李合生的《植物生理生化实验原理和技术》,分别采用茚三酮溶液显色法、考马斯亮蓝 G-250 染色法、索氏提取法、苯酚法、斐林试剂比色法测定^[11]。总酸度采用穆华荣等的氢氧化钠滴定法测定^[12]。脂肪酸组分分析参照何照范的方法,按 GB/T17376 进行脂肪酸甲酯制备,按 GB/T17377 进行脂肪酸甲酯的气相色谱分析^[13]。

1.2.4 数据分析。将观测到的重复数据进行统计分析,求出方差、平均值及标准误差,对同一测定指标在不同处理间的差异进行方差分析,并用 LSD 多重比较检验各处理与对照组的差异显著性。使用 Excel 和 SPSS 软件进行统计处理分析和绘图。

2 结果与分析

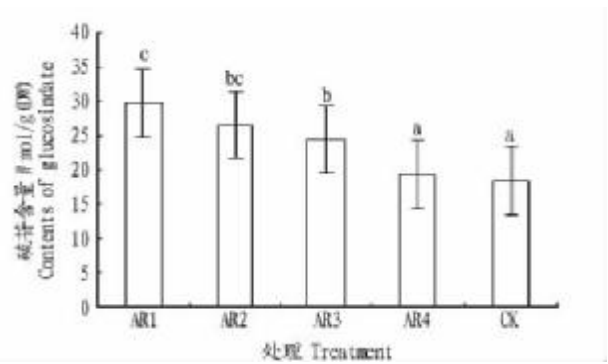
2.1 酸雨对油菜双低指标的影响

2.1.1 硫苷含量。从图1可看出,南京江北区双低油菜中 Gls 含量在 15.0~30.0 $\mu\text{mol/g}$,虽然没有超过国家农业部规定的双低油菜硫苷含量 $\leq 30.0 \mu\text{mol/g}$ 的限定标准,但对对照加拿大等欧美国家规定的双低油菜硫苷含量 $\leq 20.0 \mu\text{mol/g}$ 的标准要求还有一定距离。从不同 AR 处理可见,双低油菜 Gls 含量均随着酸雨酸度的增强持续增加,其与酸雨 pH 值之间存在明显的线性负相关($r = -0.9784^{**}$)。当酸雨 pH 值 < 4.5 后,Gls 含量则迅速增加并超过 20.0 $\mu\text{mol/g}$,油菜质量开始下降。当酸雨 pH 值 < 3.5 后,油菜 Gls 含量均超过 25.0 $\mu\text{mol/g}$,质量变差。当 AR1 (pH 值 1.5) 处理后,油菜 Gls 含量达 29.8 $\mu\text{mol/g}$,已接近并超过国家限定的双低油菜质量标准要求而成为不合格食用油产品。因此,酸雨酸度对 Gls 含量的促进作用会严重影响到双低油菜产品的质量,对双低油菜生产和品质保证不利^[14]。

2.1.2 芥酸含量。由图2可知,南京江北区双低油菜中芥酸含量约在 0.15%~0.45%,低于国家农业部 and 国外规定的双低油菜芥酸含量 $\leq 1.00\%$ 的标准,属于芥酸含量较低的优质油菜。但从不同 AR 处理可见,油菜的芥酸含量还具有随着酸雨酸度的增加而增加的趋势,其与酸雨 pH 值之间的相关系数 $r = -0.9589^{**}$ 。当酸雨 pH 值 < 4.5 后,芥酸含量均迅速增加并超过 0.20%;酸雨 pH 值 < 2.5 后,油菜芥酸含量均 $> 0.40\%$ 。可见,酸雨酸度的增加,将会导致油菜芥酸含量相应增加,从而影响双低油菜的品质质量和经济价值^[15]。

2.2 酸雨对双低油菜其他品质指标的影响

2.2.1 蛋白质含量。蛋白质是作物营养的主要组成部分,



注:图中误差线表示标准误,LSD 多重比较,不同字母表示在 5% 水平差异显著,下同。

Note: The error bars show standard errors. LSD multiple comparison. Different letters mean at 5% significant level, the same as follows.

图1 不同 AR 处理下双低油菜硫苷含量

Fig. 1 The contents of glucosinolate in double-low oilseed rape with different AR treatments

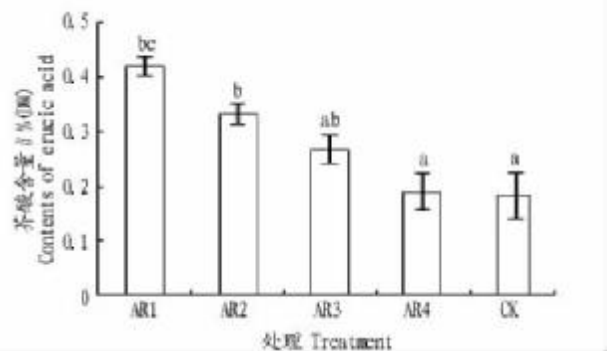


图2 不同 AR 处理下双低油菜芥酸含量

Fig. 2 The contents of erucic acid in double-low oilseed rape with different AR treatments

是产品品质反映的重要指标。图3表明,随着酸雨酸度的增加,双低油菜籽可溶性蛋白质的含量呈现出先升(pH值4.5)后降的变化趋势。与CK相比,AR4的酸雨处理使蛋白质含量上升了11.5%,差异显著($P < 0.05$),说明轻度酸雨胁迫有助于作物蛋白质的合成。当pH值 ≤ 2.5 后,蛋白质的含量迅速下降,AR2、AR1处理后其双低油菜蛋白质含量分别比CK降低了21.6%和24.8%,差异达极显著水平($P < 0.01$),表明酸雨对蛋白质的合成有明显的抑制作用,酸度越大,抑制越强。

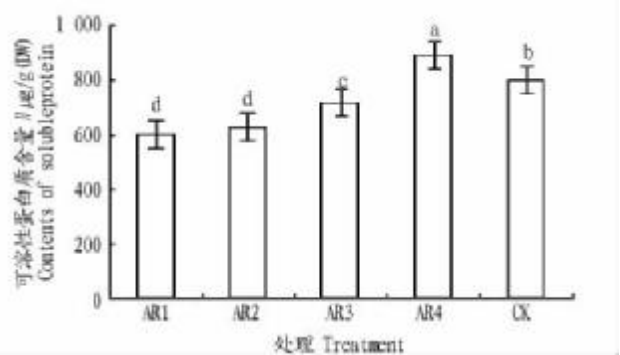


图3 不同 AR 处理下双低油菜可溶性蛋白质含量

Fig. 3 The contents of soluble protein in double-low oilseed rape with different AR treatments

2.2.2 游离氨基酸总量。氨基酸是作物籽粒氮化物的基本单位,是源库间实现氮素分配、运转、再分配的基础材料,在作物生长发育过程中起着非常重要的作用。由图 4 可以看出,双低油菜籽游离氨基酸总含量随酸雨 pH 值的降低同样呈先升后下降的单峰型变化。与对照 CK 相比,AR4 酸雨处理的游离氨基酸总含量升幅最大,达 34.2%;AR3 处理的氨基酸总含量升幅为 28.9%,两个处理均与对照差异极显著($P < 0.01$)。随着酸雨酸度的进一步增强,氨基酸总含量增幅迅速下降,酸雨 pH 值 2.5 时,升幅降至 12.8%,至 pH 值 1.5,氨基酸总含量反比 CK 下降了 11.2%,两者差异显著($P < 0.05$)。试验结果表明,pH 值 ≥ 4.5 的中、轻度酸雨胁迫有助于作物氨基酸的合成,但当酸雨 pH 值 ≤ 3.5 时,酸雨将对双低油菜籽粒游离氨基酸合成产生抑制作用。

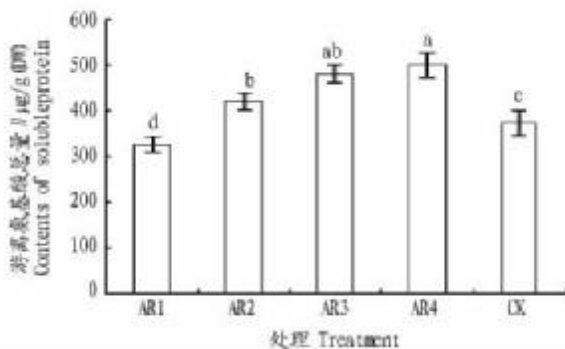


图 4 不同 AR 处理下双低油菜游离氨基酸含量

Fig. 4 The contents of total free amino acid in double-low oilseed rape with different AR treatments

2.2.3 粗脂肪含量。图 5 表明,双低油菜籽粒粗脂肪含量与酸雨酸度线性相关明显,酸雨酸度越强,则双低油菜籽粒粗脂肪含量降低的幅度越大,其相关系数 $r = 0.9814^{**}$ 。其中 AR4 处理双低油菜粗脂肪含量只下降 9.0%,差异不明显;AR3 处理粗脂肪含量下降了 15.3%,差异达显著水平($P < 0.05$);AR2、AR1 处理粗脂肪含量降至 24.7% 和 34.1%,差异达极显著水平($P < 0.01$)。说明酸雨对双低油菜籽粒粗脂肪合成的作用还是以抑制效应为主。

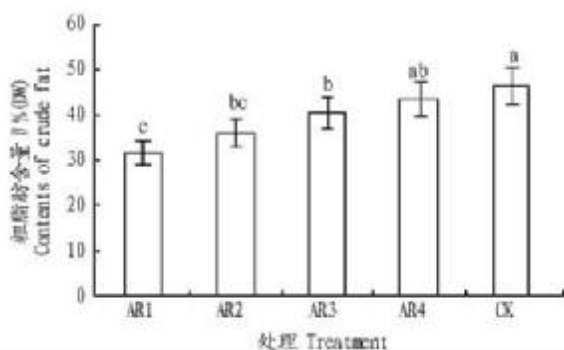


图 5 不同 AR 处理下双低油菜粗脂肪含量

Fig. 5 The contents of crude fat in double-low oilseed rape with different AR treatments

2.2.4 还原糖含量。图 6 是双低油菜还原糖含量随酸雨酸度的变化状况。由图 6 可见,与对照相比,AR4 处理后双低油菜籽粒还原糖含量增加了 6.4%;酸雨 pH 值 ≤ 4.5 后,双低油菜还原糖含量开始逐渐下降,AR3 比对照约减少了 2.2%;AR2 比对照约减少了 11.9%;AR1 比对照下降了

16.0%,差异均达显著水平($P < 0.05$)。由此表明,pH 值 < 3.5 的酸雨抑制了双低油菜籽粒还原性糖合成而降低其含量。

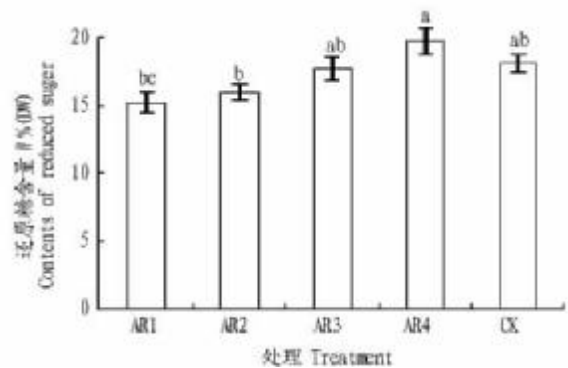


图 6 不同 AR 处理下双低油菜还原糖含量

Fig. 6 The contents of reduced sugar in double-low oilseed rape with different AR treatments

2.2.5 可溶性糖含量。由图 7 可以看出,双低油菜籽粒可溶性糖含量随酸雨 pH 值的增加而增加,相关系数 $r = 0.9568^{**}$ 。AR4、AR3 处理,双低油菜可溶性糖含量比对照分别下降了 16.6% 和 17.2%,差异达显著水平($P < 0.05$);AR2、AR1 处理,双低油菜可溶性糖含量分别比对照降低 21.0% 和 24.7%,差异均达极显著水平($P < 0.01$)。由此可见,酸雨对双低油菜籽粒的可溶性糖含量也抑制明显。

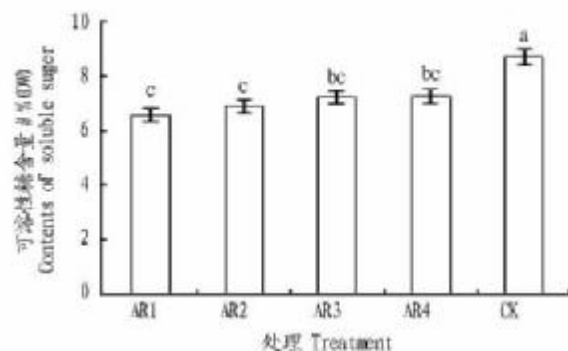


图 7 不同 AR 处理下双低油菜可溶性糖含量

Fig. 7 The contents of soluble sugar in double-low oilseed rape with different AR

2.2.6 总酸度。在双低油菜中,其籽粒总酸度随模拟酸雨酸度也略呈先升后降变化(图 8),但对比其他品质指标,其

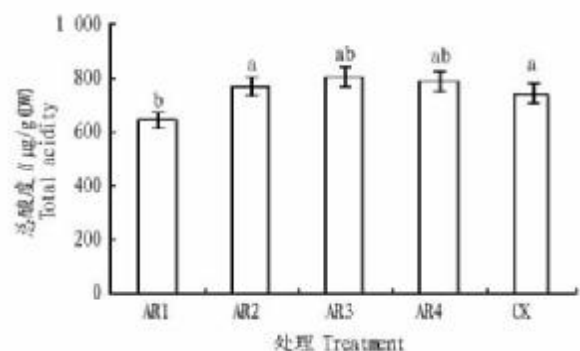


图 8 不同 AR 处理下双低油菜总酸度

Fig. 8 The total acidity in double-low oilseed rape with different AR treatments

变化幅度较为平缓,处理间差异显著程度较小。AR4 ~ AR2

处理,双低油菜总酸度对比CK分别升高6.2%、8.4%和3.6%,均没有达到显著水平;酸雨pH值<2.5后,双低油菜籽粒总酸度才开始低于CK,其中AR1处理降低约13.3%,差异达显著水平($P < 0.05$)。可见酸雨对双低油菜总酸度的影响较弱,其中pH值3.5范围内的酸雨对双低油菜总酸度略有促进,但差异不够明显;只有酸雨pH值 ≤ 1.5 时才对双低油菜总酸度产生抑制作用。

2.3 酸雨对双低油菜脂肪酸组分和含量的影响 表2列出了AR处理后双低油菜籽粒中各种不同脂肪酸主要组分的变化状况。由表2可见,双低油菜籽粒棕榈酸含量随酸雨酸度呈略升而后降的变化,最高含量为4.25%,出现在AR4处,Pearson相关系数 $r = 0.9288^{**}$ 。籽粒中硬脂酸、油酸和

亚麻酸含量则均随着酸雨酸度的增加而呈线性下降,Pearson相关系数分别为 0.9717^{**} 、 0.9983^{**} 和 0.9985^{**} ,AR1处理后的双低油菜籽粒棕榈酸、硬脂酸、油酸和亚麻酸含量对比CK分别下降了2.6%、6.2%、2.3%和6.7%,LSD多重比较结果,差异均达极显著水平($P < 0.01$)。双低油菜籽粒中的亚油酸、花生酸含量则随着酸雨酸度的增加而增加,其与酸雨pH值呈明显负相关,Pearson相关系数分别为 -0.9897^{**} 和 -0.9403^{**} ,AR1处理后,双低油菜中亚油酸和花生酸含量对比CK分别升高了6.0%和6.1%,LSD多重比较结果,差异均达极显著水平($P < 0.01$),说明酸雨对亚油酸和花生酸的合成具有一定的促进作用。

表2 不同类型模拟酸雨对双低油菜籽脂肪酸组分的影响

Table 2 Effects of different types of simulated acid rain to components of two low rape seed fatty

处理 Treatment	棕榈酸 Palmitic acid	硬脂酸 Stearic acid	油酸 Oleic acid	亚油酸 Linoleic acid	亚麻酸 Linolenic acid	花生酸 Arachidic acid
AR1	4.11 ± 0.02 bbBB	1.51 ± 0.01 ddCC	66.37 ± 0.21 ccCC	16.18 ± 0.17 ccCC	9.30 ± 0.12 ccCC	0.52 ± 0.01 bbBB
AR2	4.17 ± 0.03 abAB	1.54 ± 0.02 ccBC	66.66 ± 0.21 bcCC	16.00 ± 0.12 bcCC	9.47 ± 0.12 ccCC	0.51 ± 0.01 bbAB
AR3	4.16 ± 0.01 abBB	1.57 ± 0.01 bbBB	67.00 ± 0.20 bbBC	15.86 ± 0.13 bbBC	9.60 ± 0.12 bcBC	0.51 ± 0.01 bbAB
AR4	4.25 ± 0.02 aaAA	1.59 ± 0.01 abAB	67.46 ± 0.23 aaAB	15.52 ± 0.18 aaAB	9.80 ± 0.13 abAB	0.49 ± 0.01 aaAA
CK	4.22 ± 0.03 aaAA	1.61 ± 0.02 aaAA	67.96 ± 0.32 aaAA	15.27 ± 0.15 aaAA	9.97 ± 0.11 aaAA	0.49 ± 0.01 aaAA

注:表中数据均是平均数±标准误,方差分析并用LSD法作多重比较,不同大、小写字母分别表示在0.01和0.05水平的差异显著性。

Note: Data in the table are all average ± standard error, significance of difference was tested by ANOVA and LSD, the different capital and lowercase letters mean the difference at the 0.01 and 0.05 level respectively.

3 结论与讨论

双低油菜硫苷和芥酸含量均随酸雨酸度的增加而增加,酸雨pH值 ≤ 3.5 ,双低油菜硫苷含量 $\geq 25.0 \mu\text{mol/g}$,芥酸含量 $\geq 0.30\%$,质量变差;酸雨pH值 ≤ 1.5 ,硫苷含量 $\geq 30.0 \mu\text{mol/g}$,芥酸含量 $\geq 0.40\%$,超过国家质量标准要求而不能进入市场。酸雨胁迫下,双低油菜籽粒可溶性蛋白质、游离氨基酸、还原糖和总酸度含量均呈现出先上升而后下降的变化。影响阈限约在pH值4.0~5.0。当酸雨pH值 ≤ 4.5 ,酸雨对蛋白质、氨基酸和还原糖的合成有明显的抑制作用,酸度越大,抑制越强。双低油菜籽粒粗脂肪和可溶性糖含量与酸雨pH值呈显著正相关,随着酸雨酸度增强,双低油菜粗脂肪和可溶性糖含量降低明显。在双低油菜籽粒中,硬脂酸、油酸和亚麻酸均随酸雨酸度的增加而降低;亚油酸、花生酸均随着酸雨酸度的增加而增加;棕榈酸则呈先上升后下降的变化。

研究显示,双低油菜籽中硫苷含量依赖于植株产生的和种子中积累的2-羟-3-丁烯基和3-丁烯基硫苷的量,所有这些因素都可能受到环境、气候、营养供给和某些耕作技术的影响。双低油菜在生长过程中,其2-羟-3-丁烯基和3-丁烯基硫苷含量均来源于光合作用及根系对营养元素的吸收与同化,在酸雨胁迫下,酸雨中过多 H^+ 与叶面角质及其内部进行阳离子交换而破坏了叶组织细胞结构,导致叶片生长受抑制,叶绿素含量减小,光合能力下降,双低油菜籽粒成熟度不好,种子瘦秕,含油量和千粒重下降,从而导致农产品中可溶性糖积累速度降低,而硫苷含量则相应增加。此外,双低油菜内硫苷含量的多少还与影响其降解反应的硫苷分解酶活性有关,硫苷酶活的最适pH值为6.0~8.0,当酸雨酸度较高

时,硫苷酶活将大大降低,结果也相应促进了硫苷含量的升高^[16]。芥酸的合成大多以 C_{18} 的油酸为前体,在特异的脂肪酰延长酶(fatty acid elongase,FAE)的催化下,从丙二酸单酰辅酶A(CoA)连续转移两个C基团到 C_{18} 骨架上,从而合成廿碳烯酸和芥酸。FAE的表达具有较强的组织特异性并和环境有密切关系。酸雨酸度的增加,使FAE酶的活性大大增强,从而促进了双低油菜籽粒芥酸的合成^[17]。

酸雨对农产品品质的抑制机理是制约贮藏物质分解和运输,推迟或抑制了 α -淀粉酶的合成与活性。酸雨胁迫促进了细胞内自由基积累和Ca的流失,引发 α -淀粉酶分子氨基酸侧链交连,诱导酶合成的GA与ABA含量乃至调控该酶基因表达受阻。该研究发现的模拟酸雨可导致双低油菜粗脂肪含量降低,可溶性糖含量减少等结论与童贯和等对小麦幼苗的研究结果一致^[18];特别是植物的氮同化主要通过谷氨酰胺合成酶(GS)/谷氨酸合成酶(GOGAT)途径进行^[19],而谷氨酰胺合成酶(GS)/谷氨酸合成酶(GOGAT)的活性在pH值4.5处为最大;当酸雨强度过高或过低时,均会引起植物根系中NR和GOGAT等酶的活性相应降低,根系对氮素营养的吸收和同化受阻,使植株利用氮素能力下降,从而引起了蛋白质、氨基酸、还原性糖、总酸度随着酸雨酸度呈先升后降的变化^[20]。可溶性蛋白质、游离氨基酸和还原糖含量的影响阈限约在pH值4.0~5.0;总酸度约在pH值3.0~4.0,但以上各指标的确切阈值及酸雨对其影响的具体机理还有待进一步的研究和探讨。

参考文献

- [1] 张耀民,高绪评.酸雨对农作物的生长结实产量及种子品质的影响[J].农业环境保护,1997,16(1):1-10.

性具有重要意义。

参考文献

- [1] 左天觉. 烟草的生产、生理和生物化学[M]. 上海: 远东出版社, 1993.
- [2] 王瑞新. 烟草化学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2003: 202.
- [3] JOHNSON R R, NICHOLSON J A. The structure, chemistry and synthesis of solanone [J]. *Org Chem*, 1965, 30: 2918 - 2923.
- [4] MARTENS M, DALEN G A, RUSSWUVM H. Flavour science and technology[M]. New York: John Wiley and Sons Ltd, 1987: 101 - 106.
- [5] 毛多斌, 贾春晓, 张峻松, 等. 茄酮及其降解产物系列香料合成研究进展[J]. 郑州轻工业学院学报, 1998, 13(2): 57 - 61.
- [6] 高树鹏, 刘志华, 古昆, 等. 茄酮的合成研究进展[J]. 云南化工, 2005, 32(5): 49 - 51.
- [7] ROBERT R JOHNSON, JOHN A NICHOLSON. The structure, chemistry, and synthesis of solanone[J]. *J Org Chem*, 1965, 30: 2918 - 2923.
- [8] WATANABE. Synthesis of methyl 4-isopropyl-7-methyl-5, 7-octadienoate [J]. *Yokagako*, 1979, 28(20): 115 - 116.
- [9] MORRIS B. The photolysis of some 1, 6-Dienes [J]. *J Org Chem*, 1968, 33(1): 162 - 166.
- [10] DEMOLE E P. Perfume compounds and tobacco flavors; *Cer Offen*, 2416932[P]. 1974-11-21.
- [11] KENNETH K LIGHT, WILLIAM L SCHREIBER, RONALD P SCHRECK, et al. Process for producing solanone, norsolanadione and intermediates therefore; USA, 4412083[P]. 1983-10-25.
- [12] 孔宁川, 陈永宽, 杨伟祖, 等. 茄酮的合成及其在烟草中的应用[J]. 云南化工, 2002, 29(4): 4 - 6.
- [13] ROBERT B GRIFFITH, ROBERT R JOHNSON, ALTON D QUINN, et al. Organoleptically improved tobacco product; USA, 3174485[P]. 1965-05-23.
- [14] AKIRA K, TADASHI SATO. Total synthesis of (s)-(+)-solanone [J]. *J Chem Soc Chem Commun*, 1981, 18: 951 - 952.
- [15] AKIRA K. Metal-catalyzed organic photoreactions [J]. *J Org Chem*, 1983, 48(4): 425 - 432.
- [16] TOMAS H, RADESCA-KWART LILIAN, LI L Q, et al. Enantio selective synthesis of (-)-retigeranic acid [J]. *Tetrahedron Letters*, 1988, 29(27): 3283 - 3286.
- [17] BARDHAN J C, DE N C, DATTA B B. The synthesis of acetyl- α -isopropyl butyric acid [J]. *J Am Chem Soc*, 1951, 35: 3195 - 3199.
- [18] MASANORI U, SEISHIRO M, HARUHIRO Y, et al. Catalysis in the base-catalyzed autoxidation of disphenol [J]. *Tetrahedron Letters*, 1980, 21: 1063 - 1064.
- [19] EDWARDS W B. Oxocarboxylic acids; US, 4612391[P]. 1986-09-16.
- [20] DENISE A A, JIH RU, WU H. Total synthesis of (\pm)- α -bou rbonene [J]. *J Org Chem*, 1990, 55: 511 - 516.
- [21] 王瑞新, 马常力, 韩锦峰, 等. 烤烟不同品种香气物质成分的定量分析 [J]. 河南农业大学学报, 1991(6): 151 - 154.
- [22] 赵铭钦, 陈秋会, 赵明山, 等. 南阳地区生态条件对不同基因型烤烟品种烟叶化学成分和香气物质含量的影响 [J]. 中国烟草学报, 2008, 14(1): 37 - 41.
- [23] 赵铭钦, 李晓强, 韩静, 等. 不同基因型烤烟中性致香物质含量的研究 [J]. 中国烟草学报, 2008, 14(3): 46 - 50.
- [24] 周淑平, 肖强, 陈叶君, 等. 不同生态地区初烤烟叶中重要致香物质的分析 [J]. 中国烟草学报, 2004, 10(1): 9 - 16.
- [25] 袁有波, 陈雪, 朱贵川, 等. 毕节地区烟叶致香物质研究 [J]. 安徽农业科学, 2007, 35(28): 8916 - 8918.
- [26] 邵岩, 宋春满, 邓建华, 等. 云南与津巴布韦烤烟致香物质的相似性分析 [J]. 中国烟草学报, 2007, 13(4): 19 - 25.
- [27] 邵岩, 方敦煌, 邓建华, 等. 云南与津巴布韦烤烟致香物质含量差异研究 [J]. 中国农学通报, 2007, 23(2): 70 - 74.
- [28] 程昌新, 卢秀萍, 许自成, 等. 基因型和生态因素对烟草香气物质含量的影响 [J]. 中国农学通报, 2005, 21(11): 137 - 139.
- [29] 廖惠云, 甘学文, 陈晶波, 等. 不同产地烤烟复烤烟 C₃F 致香物质与其感官质量的关系 [J]. 烟草科技, 2006(7): 46 - 50.
- [30] 周冀衡, 杨虹琦, 林桂华, 等. 不同烤烟产区烟叶中主要挥发性香气物质的研究 [J]. 湖南农业大学学报, 2004, 30(1): 20 - 23.
- [31] 洗可法, 沈朝智, 戚万敏, 等. 云南烤烟中性香味物质分析研究 [J]. 中国烟草学报, 1992(2): 1 - 9.
- [32] 韩锦峰, 刘卫群, 杨素勤, 等. 海拔高度对烤烟香气物质的影响 [J]. 中国烟草, 1993(3): 1 - 3.
- [33] 郑湖南. 不同香气风格烤烟常规化学成分和香气物质的差异研究 [J]. 安徽农业科学, 2008, 36(31): 13700 - 13702, 13728.
- [34] 李章海, 王能如, 王东胜, 等. 烤烟香型的重要影响因子及香型指数模型的构建初探 [J]. 安徽农业科学, 2009, 37(5): 2055 - 2057.
- [35] 王能如, 李章海, 王东胜, 等. 烤烟香气成分与其评吸总分和香味特征的相关性 [J]. 安徽农业科学, 2009, 37(6): 2567 - 2569, 2619.
- [36] 王东胜, 王能如, 李章海, 等. 栽培调控措施对南丹烤烟香气质量的影响 [J]. 安徽农业科学, 2009, 37(10): 4505 - 4509.
- [37] 张永安, 王瑞强, 杨述元, 等. 生态因子与烤烟中性挥发性香气物质的关系研究 [J]. 安徽农业科学, 2006, 34(18): 4652 - 4654.
- [38] 刘登乾, 李章海, 毛化贤, 等. 陈化对不同产地烤烟品质和香气质量的影响 [J]. 安徽农业科学, 2008, 36(22): 9585 - 9588.
- [39] 张晓兵, 卢秀萍, 许自成, 等. 不同基因型烤烟化学成分与中性香气物质含量的相关分析 [J]. 安徽农业科学, 2007, 35(31): 9947 - 9948, 9950.
- [2] 野岛博(日), 于泽源(译). 园艺作物品质评价和经济评价的研究 [J]. 北方园艺, 1994(2): 26 - 27.
- [3] HOTMES M R J. Nutrition of the oilseed rape crop [M]. London UK: Applied Science Publisher, 1980.
- [4] 李培武, 谢立华, 李光明, 等. 双低油菜质量标准及其检测技术 [J]. 中国食物与营养, 2003(6): 21 - 24.
- [5] 江苏省农业厅. 江苏双低油菜产业化发展思路 [J]. 中国农业信息快报, 2001(9): 6.
- [6] 刘兆平, 孙华. 南京地区的酸雨趋势分析 [J]. 上海环境科学, 1996, 15(1): 30 - 32.
- [7] TANG X R, GUAN C Y. Relation ship between activities of several enzymes and the oil, protein and yield of rapeseeds (*Brassic napus*) [J]. *Journal of Hunan Agricultural University*, 2000, 26(1): 37 - 40.
- [8] ZHAO F J, EVANS E J, BILSHORMW P E, et al. Correction for protein content in the determination of the glucasinolate content of rapeseed by the X-RF method [J]. *J of Sci of Food in Agric*, 1992, 58: 431 - 433.
- [9] ZHAO F J, EVANS E J, BILAHORROW P E, et al. Influence of sulfur and nitrogen on seed yield and quality of low glucasinolate oilseed rape (*Brus-sica napas* L.) [J]. *J of Sci of Food in Agric*, 1993, 63: 29 - 37.
- [10] 鲁显楷, 莫江明, 彭少麟, 等. 鼎湖山季风常绿阔叶林林下层 3 种优势树种游离氨基酸和蛋白质对模拟氮沉降的响应 [J]. 生态学报, 2006, 26(3): 743 - 753.
- [11] 李合生. 植物生理生化实验原理和技术 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2000.
- [12] 穆华荣, 于淑萍. 酸度的测定 [M] // 穆华荣, 于淑萍. 食品分析. 北京: 化学工业出版社, 2004: 47 - 48.
- [13] 何照范. 粮油籽粒品质及其分析技术 [M]. 北京: 中国农业出版社, 1985: 290 - 294.
- [14] 李培武, 赵永国, 张文, 等. 中国甘蓝型油菜硫苷含量及组份分析 [J]. 中国农业科学, 2005, 38(7): 1346 - 1352.
- [15] 武玉花, 卢长明, 吴刚, 等. 植物芥酸合成代谢与遗传调控研究进展 [J]. 中国油料作物学报, 2005, 27(2): 82 - 86.
- [16] 钱和, 雕鸿荪, 沈蓓英. 油菜籽中硫苷酶及其酶解性质研究 [J]. 无锡轻工大学学报, 1997, 16(2): 37 - 41.
- [17] 罗通, 廖鑫, 邓鑫远. 植物芥酸的研究 [J]. 宜宾学院学报, 2004(6): 177 - 180.
- [18] 童贯和, 梁惠玲. 模拟酸雨及其酸化土壤对小麦幼苗体内可溶性糖和含氮量的影响 [J]. 应用生态学报, 2005, 16(8): 1487 - 1492.
- [19] ZHENG C F. Glutamate synthase in plants [J]. *Plant Physiol Commun*, 1986, 3: 5 - 12.
- [20] 高吉喜, 曹洪法. 酸雨对植物新陈代谢的影响 [J]. 环境科学研究, 1996, 9(4): 41 - 45.

(上接第 12470 页)