

安宁河流域稻米生化品质的气候关系模型^{*}

彭国照^{1**} 王景波²

(¹中国气象局成都高原气象研究所 成都 610071)

(²凉山州气象局 四川西昌 615000)

摘要 利用粳稻品种“合系39”在安宁河流域无控制的地理分期播种试验稻米,在实验室进行稻米生化品质的化验分析;采用统计分析方法,研究了气候生态因子与稻米生化品质的定量关系,找出影响稻米生化品质各组分的关键时期,建立综合关系模型. 研究结果表明:1)气候生态条件对生化品质不同组分影响的关键因子和关键时期不同,一些组分的关键时期在齐穗前,一些在齐穗后,一些则从齐穗前持续到齐穗后;2)温度是影响稻米生化品质含量的主要气候因素,蛋白质、氨基酸和直链淀粉含量与关键期的温度呈直线负相关,支链淀粉含量与关键期的温度呈抛物线关系;3)温度日较差、日照时数与蛋白质、氨基酸、直链淀粉呈负相关,与支链淀粉呈正相关. 图4表2参10

关键词 生化品质;气候因子;关系模型;安宁河流域;粳稻米

CLC S511.01(271)

CLIMATIC RELATIONSHIP MODEL OF RICE BIOCHEMICAL QUALITY IN THE ANNING RIVER VALLEY^{*}

PENG Guozhao^{1**} & WANG Jingbo²

(¹Institute of Plateau Meteorology, China Meteorology Administration, Chengdu 610071, China)

(²Meteorology Bureau of Liangshan Prefecture, Xichang 615000, Sichuan, China)

Abstract The meteorological conditions for biochemical qualities of rice were analyzed. This analysis employed a variety of observations from cropland experiments of which planting was conducted geographically and periodically without control in the Anning River Valley, and from the analyzing data of the laboratory assay on the biochemical qualities of rice. An integrated relationship model for the relationship of the biochemical qualities of rice with mean temperature, daily ranges of temperature and the insolation duration hours of the pivotal moments was developed. The analysis indicated: 1) the climate ecological conditions had different impact models and pivotal moments on different components. The prominent correlative time of some components was beyond the full heading period, while that of some other components was from before the full heading period to after the full heading period; 2) the primary factor impacting the biochemical qualities of rice was temperature, and the relationship among protein, amino acids, AC and temperature was negative, but amylopectin was parabola; 3) the negative relationship among protein, amino acids, AC, daily ranges of temperature and the insolation duration hours of the pivotal moments was also found. Fig 4, Tab 2, Ref 10

Keywords biochemical qualities; climate factors; Anning River Valley; relationship model; nonwaxy rice

CLC S511.01(271)

稻米生化品质主要包括稻米淀粉、蛋白质、氨基酸等,是稻米品质的重要组成部分.生化品质组分含量的多少,不仅受稻种遗传特性的影响,而且随环境气候条件的不同而发生很大的变化,历来受到众多学者的关注,通过人工气候箱或田间控制试验等进行了较多的研究^[1~4,7,8].但这些研究多为定性研究,且所用品种不同、试验方法不同,所得结论往往不一致^[10],也未涉及高原稻区气候生态条件与稻米生化品质的关系.

四川安宁河流域稻区地处云贵高原、青藏高原与四川盆地的过渡地带,是四川的一个特殊稻区.常年水稻种植面积8

$\times 10^4 \text{ hm}^2$, 占大春粮食作物种植面积的22%,总产约 $45 \times 10^4 \text{ t}$, 占大春粮食总产33%~34%,在农业中占有重要的地位.该稻区由于气候条件的特殊性,水稻产量较高,品质好,也是四川重要的优质稻米生产基地.但到目前为止,就安宁河流域气候生态条件对稻米生化品质的影响还没有进行深入的定量研究,品种布局、播期安排都带有一定的盲目性,限制了该区域优质稻的规模发展和气候资源优势的发挥.为此,2001年我们在安宁河进行了无控制条件下地理分期播种试验,旨在定量研究稻米生化品质与气候生态条件的定量关系,建立关系模型,为该区域优质稻米生产布局规划提供科学依据.

1 材料与方法

1.1 试验品种

粳稻合系39号.

收稿日期:2004-01-20 接受日期:2004-05-19

^{*} 国家自然科学基金项目(No. 40375031)和四川省气象局重点项目(2000-1)联合资助 Supported by the National Natural Science Foundation of China and the Key Project of the Sichuan Meteorology Bureau

^{**} 通讯作者 Corresponding author (E-mail: pgzhao567@sina.com)

1.2 田间种植

2001 年在四川安宁河流域上、中游稻区的西昌(海拔 1 550 m)、冕宁(海拔 1 770 m)选择土壤肥力中等或中等偏上的田块,与当地气象站所处海拔高度小于 50 m 且有水源排灌保证. 试验小区面积 13.3 m²,3 次重复随机排列,从 2001 年 3 月 25 日开始至 5 月 15 日止,每隔 10 d 播 1 期共 6 期. 移栽规格、施肥量、施肥方式与当地大田生产相同.

1.3 生化品质分析

将成熟收获的前 5 期(由于第 6 期不能正常成熟)稻谷晒干,送四川省农业科学院中心实验室进行生化品质分析,分析项目有粗蛋白、直链淀粉、支链淀粉和 17 种氨基酸. 氨基酸采用日立 835-50 型高速氨基酸分析仪测定.

1.4 研究方法

我们从齐穗前 40 d 到穗后 10 d 之间,每隔 5 d 作为一个

起点,向后分别以 10 d、15 d、20 d、25 d、30 d、35 d 作为统计时段长度,统计各时段(11×6=66 个时段)及齐穗到成熟期间共 67 个时段的平均温度、最高温度、最低温度、温度日较差平均和总日照时数,采用直线、曲线(指数、对数、抛物线)回归方法,分析稻米生化品质各分量与气象要素之间的关系.

2 结果分析

2.1 温度对稻米生化品质的影响

通过本研究在四川安宁河流域试验的统计分析,温度因子对稻米生化品质影响的关键时期、最大相关系数和统计关系式如表 1. 从表 1 看出,温度与稻米生化品质的关系都比较密切,除蛋氨酸 Met、脯氨酸 Pro 仅达到 5% 的显著性检验外,其余都达到 1% 的显著性检验水平. 但生化品质的不同组分与温度的关系及影响的关键时期不同.

表 1 稻米品质与温度因子的最大相关系数、关键时期及关系式

Table 1 Maximal correlation coefficient among biochemical quality of rice, temperature and key period

生化品质组分 Biochemical quality	最大相关系数 $R_{\max}$	关键时段 Key period	统计关系式 Model	显著性检验 Significance
蛋白质 Protein	-0.9828	0~35	$Y = -0.6835T + 21.018$	**
直链淀粉 AC	-0.8836	-5~30	$Y = -0.4033T + 25.931$	**
氨基酸总量 Amino acid	-0.9530	0~35	$Y = -0.6282T + 19.555$	**
支链淀粉 Amylopectin	0.9311	5~30	$Y = 47.534T - 1.2135T^2 - 400.76$	**
天门冬氨酸 Asp	-0.9774	-15~20	$Y = -0.0495T + 1.6528$	**
苏氨酸 Thr	-0.9267	-25~-10	$Y = -0.0258N + 0.6982$	**
丝氨酸 Ser	-0.9318	-15~20	$Y = -0.0279T + 0.9027$	**
谷氨酸 Glu	-0.9705	10~45	$Y = -0.1826N + 4.5853$	**
甘氨酸 Gly	-0.8631	10~35	$Y = -0.0225T + 0.7443$	**
丙氨酸 Ala	-0.9160	5~40	$Y = -0.0512X + 1.6658$	**
胱氨酸 Cys-Cys	0.8372	-30~-20	$Y = -0.3573X + 0.0063X^2 + 5.1917$	**
缬氨酸 Val	0.8437	0~30	$Y = -2.1708T + 0.0561T^2 + 21.4340$	**
蛋氨酸 Met	-0.7423	10~35	$Y = -0.0225X + 0.6257$	*
异亮氨酸 Ieu	-0.9317	-40~-10	$Y = -0.0377T + 1.1737$	**
亮氨酸 Leu	-0.9463	0~30	$Y = -0.0694N + 1.8093$	**
酪氨酸 Tyr	-0.9194	0~30	$Y = -0.0462N + 1.0782$	**
苯丙氨酸 Phe	-0.8760	10~45	$Y = -0.0286N + 0.8967$	**
赖氨酸 Lys	-0.8825	0~35	$Y = -0.0242T + 0.7442$	**
组氨酸 His	-0.8056	-5~5	$Y = -0.0110N + 0.3474$	**
精氨酸 Arg	-0.8916	-30~-15	$Y = -0.0522X + 2.1929$	**
脯氨酸 Pro	0.7837	5~35	$Y = 2.7731T - 0.0731T^2 - 25.9797$	*

T 、 X 、 N 分别表示关键阶段平均温度、平均最高温度和平均最低温度. 关键时段表示法,以齐穗期作为 0 点,齐穗前为负,齐穗后为正. 显著性检验: *、** 分别表示 5%、1%. 下同 T 、 X 、 N are the mean, maximum and minimum temperatures, respectively. Tassel date is 0, before tassel is negative, after tassel is positive. Significance: *, ** are 5% and 1%, respectively. The same below

氨基酸总量、蛋白质、直链淀粉与各时段的平均温度呈直线负相关,相关最显著的时段(即关键时段)分别为 0~35 d、0~35 d 和 -5~30 d,相关系数分别到达 -0.953 0、-0.982 8 和 -0.883 6,通过 1% 的显著性检验. 随着关键时段平均温度的升高 1℃,其含量分别下降 0.6282%、0.6835% 和 0.4033%. 如图 1、图 2. 氨基酸总量、蛋白质是表征稻米营养品质的重要成分,直链淀粉则与稻米的蒸煮品质密切相关,也就是说在一定范围内关键期平均温度的升高对增加稻米的营养品质不利,但可以在一定程度上提高稻米的蒸煮品质. 支链淀粉与平均温度的关系随时段的不同而不同,有直线型,也有抛物线型,但相关最显著的还是抛物线型,如图 3,影响的关键时段为 5~30 d,相关系数为 0.931 1,其统计关系式为 $Y_{\text{支链淀粉}} = 47.534T_{5-30d} - 1.2135T_{5-30d}^2 - 400.76$. 将该式求导并令导数为 0,得到抛物线顶点温度

为 19.6℃,即在 19.6℃ 以下,随着温度升高,支链淀粉含量增加;在 19.6℃ 以上,随着温度升高,支链淀粉含量下降. 氨基酸的 17 种组分对温度的反应比较复杂,影响的关键时段也不同. 与天门冬氨酸 Asp、丝氨酸 Ser、甘氨酸 Gly、异亮氨酸 Ieu、赖氨酸 Lys 关系密切的是平均温度,与苏氨酸 Thr、谷氨酸 Glu、亮氨酸 Leu、酪氨酸 Tyr、苯丙氨酸 Phe、组氨酸 His 关系密切的是最低温度,与丙氨酸 Ala、精氨酸 Arg、蛋氨酸 Met 关系密切的是最高温度,但都有一个共同特征,即随着温度的升高而降低,呈显著的直线负相关. 蛋氨酸 Met 的显著性检验略差,仅达到 5% 的显著检验水平;而缬氨酸 Val、脯氨酸 Pro、胱氨酸 Cys-Cys 与温度呈抛物线关系,最大相关系数也仅达到 5% 的显著检验水平. 影响的关键时段有 3 种情况,一种情况是齐穗前,如 Thr、Cys-Cys、Ieu 和 Arg 都在 -40 d 到 -10 d 之间,这些成分主要是在穗

前形成,存储在茎秆和叶片中,灌浆期间再转移到子粒中;第二种情况是在齐穗后,如 Glu、Gly、Ala、Met、Val、Leu、Tyr、Lys、Phe、Pro,这些成分主要是在穗后形成;第三种情况是从齐穗前持续到齐穗后,如 Asp、Ser 和 His,这些成分在孕穗后期到灌浆中前期形成。

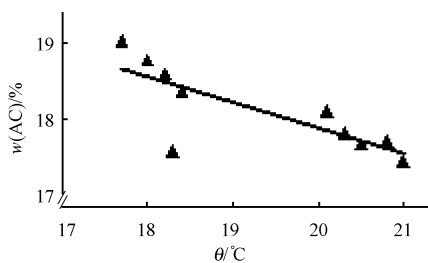


图1 直链淀粉(AC)与-5~30 d平均温度的关系

Fig. 1 Relationship between amylose content (AC) and mean temperature of -5 to 30 d

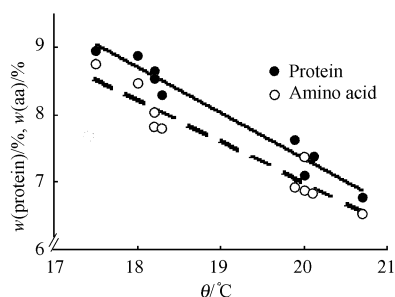


图2 蛋白质、氨基酸含量与-5~30 d平均温度的关系

Fig. 2 Relationship of protein content and amino acid with mean temperature of -5 to 30 d

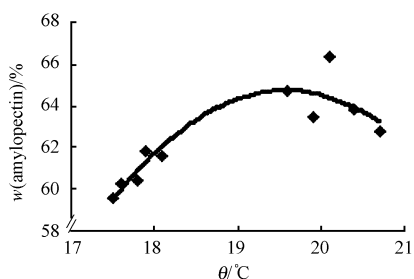


图3 支链淀粉与5~30 d平均温度的关系

Fig. 3 Relationship between amylopectin content and mean temperature of 5 to 30 d

2.2 气温日较差对稻米品质的影响

一般情况下,气温日较差大,能够促进白天光合产物生成,降低夜间呼吸消耗,有利于干物质的积累。目前关于温度日较差对稻米生化品质影响的研究较少,且多为一些定性结论^[4]。本研究的统计结果表明,各统计时段温度日较差与稻米生化品质各组分的关系均为线性关系,通过筛选普查,其最大相关系数和关键时段如图4。支链淀粉与气温日较差呈正相关,关键时段为-5~30 d,相关系数达0.830 7,通过1%的显著性检验,关键期温度日较差的增大有利于支链淀粉含量的提高。直链淀粉、蛋白质、氨基酸总量及17种氨基酸分量都与温度日较差呈负相关,但不同组分的关键期不同。总的趋势可以看出,随着关键期温度日较差的增大,这些组分含量有降低的趋势。其中直链淀粉、蛋白质、氨基酸总量及 Asp、Thr、Ser、Glu、Ala、

Met、Phe、Arg 和 Pro 都达到1%以上的显著性检验水平,而 Gly、Ieu、Leu、Tyr、Lys 和 His 仅达5%的显著性检验水平。Cys-Cys 及 Val 与温度日较差的关系较差,未达5%的显著性检验水平。

2.3 日照时数对稻米生化品质的影响

日照时数的多少可以间接反映出辐射量的多少。本研究通过直线、抛物线、对数和指数曲线统计分析,生化品质各组分均以对数曲线的相关最好,其统计结果及关键时段如表2。支链淀粉与-5~30 d日照时数呈正相关,相关系数为0.808 9,达到1%的显著性检验水平。直链淀粉、蛋白质、氨基酸总量以及除 Pro 之外的16种氨基酸分量和关键期日照时数均呈负相关,日照时数的增加使这些组分含量有下降的趋势。Pro 与-40~-10 d期间日照时数的呈正相关。但 Cys-Cys、Val、Pro 相关性较差,未能通过5%的显著性检验,说明这些氨基酸分项对日照的变化并不敏感。总而言之,关键期日照时数的增加有利于降低稻米的直链淀粉含量,提高稻米的口感品质,但蛋白质、氨基酸含量随之降低,也就是说,关键期日照时数的增加有降低稻米营养品质的趋势。

2.4 稻米生化品质各组分的综合气象模型

以上单项分析找出了气候生态因子对稻米生化品质各组分的影响规律和关键时期,为了便于生产上应用,利用本试验资料,采用逐步回归分析来建立综合模型。建立的综合模型共有21个,限于篇幅,仅列出蛋白质、总氨基酸、直链淀粉、支链淀粉与气象要素的综合模型如下:

$$Y_{\text{直链淀粉}} = -0.29793T_{-5-30} - 0.22005\Delta c_{-30-15} + 26.1$$

$$R = 0.9010 \quad F(2,7) = 15.1 > F_{0.01}(2,7) = 9.55$$

$$Y_{\text{支链淀粉}} = 36.36565T_{5-30} - 0.93075T_{5-30}^2 + 1.2855\Delta c_{-5-30} - 300.1$$

$$R = 0.9339 \quad F(3,6) = 13.6 > F_{0.01}(3,6) = 9.78$$

$$Y_{\text{蛋白质}} = -0.67858T_{0-35} - 0.02063 \ln(S_{-5-30}) + 21.01084$$

$$R = 0.9813 \quad F(2,7) = 91.1 > F_{0.01}(2,7) = 9.55$$

$$Y_{\text{总氨基酸}} = -0.53711T_{0-35} - 0.3802 \ln(S_{-5-30}) + 19.43183$$

$$R = 0.9580 \quad F(2,7) = 39.1 > F_{0.01}(2,7) = 9.55$$

式中 T 、 Δc 、 S 分别表示关键时段的平均温度、温度日较差平均和累计日照时数,下标表示关键时段,以齐穗期为0点,齐穗前为负,齐穗后为正。以上各式均达到1%的显著检验水平。直链淀粉、支链淀粉的主导气象因子为关键期的平均温度和温度日较差,蛋白质、氨基酸的主导气象因子为关键期的平均温度和日照时数,且各项系数的符号与前面单因子分析结果相同。从各式的偏回归系数可以看出,温度的作用是第一位的,其次才是日照时数或温度日较差。应用综合模式可以推算稻米品质在安宁河流域的分布特征,也可以确定高产优质的适宜播期,生产上可以根据其对各生化品质组分的具体要求做出决策,具有重要的生产意义。

3 讨论

3.1 文献^[4]认为,低直链淀粉含量的粳稻品种,当灌浆期气温在21~23℃变化时,直链淀粉含量随着温度的升高而减少。本试验所处环境为高原边缘稻区,温度水平较低,-5~30 d平均温度仅17~21℃,直链淀粉与关键期的平均温度仍然反映出

较显著的负相关关系,这也许是低直链淀粉品种的一个共性。目前关于温度对支链淀粉影响的研究报道较少,该试验得出支链

淀粉与 5~30 d 的平均温度呈抛物线关系,最有利于支链淀粉形成的温度为 19.6℃,这种结果的原因有待进一步探索。

表 2 日照时数对稻米品质各组分的影响
Table 2 Effect of sunshine time on the biochemical qualities of rice

Biochemical qualities	AC	Amylopectin	Protein	Amino acid	Asp	Thr	Ser	Glu	Gly
$R_{\max}$	-0.7746	0.8089	-0.8673	-0.8773	-0.9237	-0.8898	-0.9437	-0.8877	-0.7344
Key period	-30 ~ -15	-5 ~ 30	-5 ~ 30	-5 ~ 30	-5 ~ 30	-5 ~ 30	-5 ~ 30	-5 ~ 30	-30 ~ -15
Significance	**	**	**	**	**	**	**	**	*

Biochemical qualities	Ala	Met	Ieu	Leu	Tyr	Phe	Lys	His	Arg
$R_{\max}$	-0.7713	-0.7839	-0.7783	-0.7457	-0.7494	-0.8063	-0.7707	-0.6850	-0.8956
Key period	0 ~ 35	0 ~ 35	-5 ~ 30	-5 ~ 30	-5 ~ 30	-5 ~ 30	-5 ~ 30	-5 ~ 30	-30 ~ -15
Significance	**	**	**	*	*	**	**	*	**

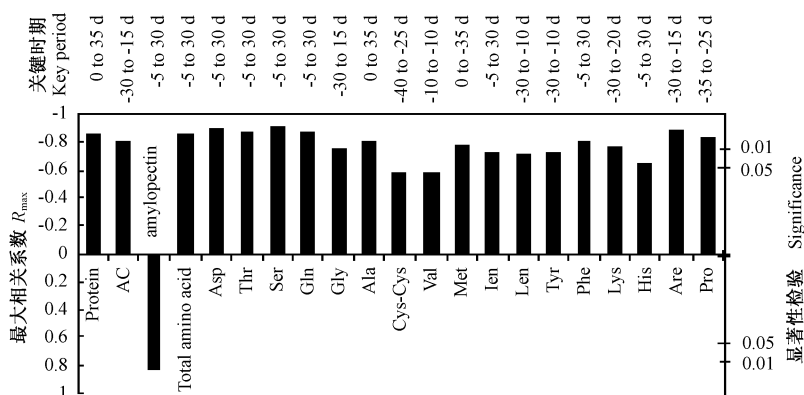


图 4 温度日较差对生化品质影响的关键时期、最大相关系数及显著性检验

Fig. 4 Key period and maximal correlation coefficient and its significance of biochemical qualities of rice and daily range of temperature

3.2 关于气温对稻米蛋白质和氨基酸含量的影响,国外有人认为是成熟期间较高的温度能提高稻米的蛋白质和氨基酸含量^[2,3]。而周广治等则指出,灌浆期高温会使稻米的蛋白质和氨基酸含量减少^[9]。本试验研究认为,蛋白质和氨基酸含量与温度呈负相关,但不同组分的关键时期不同。

3.3 李林等^[4]在灌浆期按自然光照和 70% 自然光照两种处理,结果显示,光照对直链淀粉的影响因品种而异,有的品种增加,有的品种减少,有的品种无变化;对蛋白质的影响出现两种情况,4 个参试品种中有 3 个品种表现出蛋白质含量随光照减少而增加,只有汕优 63 的变化相反。孟亚利等的研究^[9]表明,对于低直链淀粉含量型的品种,直链淀粉含量与日照时数呈负相关,对高直链淀粉含量型的品种则相反,日照时数对与蛋白质含量的影响呈较显著的负相关。本试验分析稻米生化品质与日照时数呈对数关系,且仅与支链淀粉的相关为正,与支链淀粉、蛋白质、氨基酸及其氨基酸的各组分均为负,温度日较差也有类似的趋势。表明日照时数和温度日较差的增加,对提高稻米口感品质有利。

3.4 普遍研究认为,气候生态条件对稻米品质影响主要在灌浆结实阶段^[7,9],但本试验得出:气候生态条件对不同组分影响的关键时期不同,有的在齐穗前,有的在齐穗后,有的从齐穗前持续到齐穗后,不完全在灌浆结实阶段,这是一次新的探索。

References

1 李欣,顾铭洪. 灌浆结实期环境条件对稻米品质的影响. 江苏农业

院学报,1989,10(1): 7~12

- Masako Asaoka. Effect of environment temperature at the milky stage on amylose content and fine structure of amylopectin of waxy endosperm starches of rice. *Agri & Biochem*, 1985, **49**: 373~378
- Normita cruz. Effect of temperature during grain development on stability of cooking quality components in rice. *Japan J Breed*, 1989, **39**: 292~306
- 李林,沙国栋 陆景淮. 水稻灌浆期光温因子对稻米品质的影响. *中国农业气象*,1989,10(3):33~38
- Gomez KA. Effect of environmen on protein and amylose content of rice. In: *Proceedings of the Workshop on Chemical Aspects of Rice Quality*, IRRI, 59~65
- Meng YL(孟亚利),Zhou ZG(周志国). Relationship between rice grain quality and temprature duing seed setting period. *Chin J Rice Sci* (中国水稻科学),1997,11(1):51~54
- Cheng FM(程方民),Zhang SW(张嵩午). The dynamic change of rice quality during the grain filling stage and effects of temperature upon it. *J Zhejiang Univ(Agric & Life Sci)* [浙江大学学报(农业与生命科学版)],1999,25(4):347~350
- Zhou GQ(周广治),Xu ML(徐孟亮),Tan Z(谭周),Li XZ(李训贞). Effects of ecological factors on protein and amino acids of rice. *Acta Ecol Sin*(生态学报),1997,17(5):537~542
- Meng YL(孟亚利),Gao RS(高如嵩),Zhang SW(张嵩午). The major meteorological and ecological factors affecting rice grain qualities. *Acta Univ Agric Bor - Occid*(西北农业大学学报),1994,22(1):40~43
- Cheng FM(程方民),Zhu BY(朱碧岩). Present research of the effect of meteorocological fators on rice quality. *中国农业气象*,1998,19(5):39~45