

玉米灌浆至成熟期四种密度下 子粒内含物变化规律的研究

王鹏飞

刘鹏飞

(吉林省农科院,公主岭 136100)(扶余县蔡家沟农业站,扶余 131204)

提 要 通过测定不同种植密度的玉米子粒内含物的百粒含量(g),研究了不同种植密度条件下玉米从灌浆至成熟期的子粒干物质积累、蛋白质、脂肪、淀粉及水分含量的变化。结果显示:随子粒灌浆至成熟的进程,四种密度下玉米子粒干物质积累均呈 Logistic 曲线的规律变化。蛋白质、脂肪、淀粉及子粒水分含量在不同密度下变化不同,其基本变化形式为:直线($y = b_0 + b_1x$)变化、高次曲线($y = b_0 + \sum_{i=1}^n b_i x^i$)变化和 Logistic 曲线($y = \frac{c}{1 + e^{a-bx}}$)变化。

关键词 玉米;种植密度;子粒内含物

玉米子粒内含物主要指子粒的水分含量、干物质及其蛋白质、脂肪、淀粉含量等。关于种植密度对玉米产量和子粒内含物的影响研究,国外学者曾做过一些工作,国内尚未见报道。Zuber(1954)和 M. Ahmadi 等(1993)研究认为,增加密度降低了玉米子粒 N 浓度。Baenigert 和 Glover(1980)指出,增加密度可降低子粒粒重。Vyn、Mose(1988)和 Cloning, F.D 等(1975)的研究表明,增加密度影响子粒灌浆至成熟期的水分状况,使其慢速脱水,提高了收获时的子粒破碎率。Ефимов И.Т 等(1982)在研究种植密度与玉米品质关系时指出,当行距由 70 cm 增至 90 cm 和 100 cm 时,子粒中的粗蛋白和粗脂肪含量有提高的趋势。

前述研究多考虑种植密度与收获时的产量及品质的关系,而没有系统研究灌浆至成熟期不同种植密度下玉米子粒内含物的变化。本研究通过定期测定灌浆至成熟期不同密度子粒干物质积累、子粒水分含量及子粒蛋白质、脂肪、淀粉含量等,以寻找玉米子粒内含物的变化规律,从而为玉米的高产优质栽培,特别是玉米适时收获和加工利用提供科学依据。

1 材料和方法

本试验于 1994 年在镇赉县胜利乡进行。土壤类型为草甸黑钙土,地力均一。供试品种为掖单 51。

1.1 试验设计

4 个密度处理分别为每公顷 5、6、7、8 万株。每小区 14 行,行距 0.6 m,行长 20 m,小区面积 168 m²。未设重复,随机排列。

1.2 栽培管理

每公顷施磷酸二铵 300 kg,硫酸钾 300 kg,尿素 500 kg。N:P₂O₅:K₂O = 274:138:150。除

尿素 400 kg 留在大喇叭口期追肥外,其余均在打垄时做底肥一次施入。用少量硫酸锌拌种。4月25日播种,三犁川打垄,深施底肥,刨墒坐水种,进行补水灌溉,其它管理同当地生产田。

1.3 取样

从开始灌浆第 15 d(8月15日)始,选择有代表性植株 5 株,每隔 5 d 从各株穗上取 50 粒,3次重复,水分测定后风干留做分析测定用。收获时的测试样品则从测产考种样品中取出。

1.4 测试分析

用烘干法测定子粒干物质,用 K 氏定 N 法测定子粒蛋白质,蛋白质含量 = 6.25 × N 含量,用油重法测定子粒脂肪,用 HCl—铜还原直接滴定法测定子粒淀粉含量,产量为实际收获产量,用 DOLE Grain Moisture Tester 测定子粒含水量。

2 结果与分析

2.1 子粒干物质积累变化

与前人研究结果类似,不同种植密度的干物质积累变化趋势基本相同,均呈 Logistic 曲线形状(见图 1)。所不同的是曲线的特征值存在差异(见表 1)。

Logistic 曲线的表达式为: $y = \frac{c}{1 + e^{a-bx}}$,

式中 y 为干物质积累量(g/d·百粒), x 为开始灌浆后的天数。对上式求一阶导数,得到 $\frac{dy}{dx}$ 为干物质积累速度。求二阶导数 $\frac{d^2y}{dx^2}$,并

令 $\frac{d^2y}{dx^2} = 0$,得到子粒干物质积累速度最大值

出现在开始灌浆后的第 a/b 天。从而得到各密度处理的子粒干物质积累最大速度和出现日期(见表 1)。

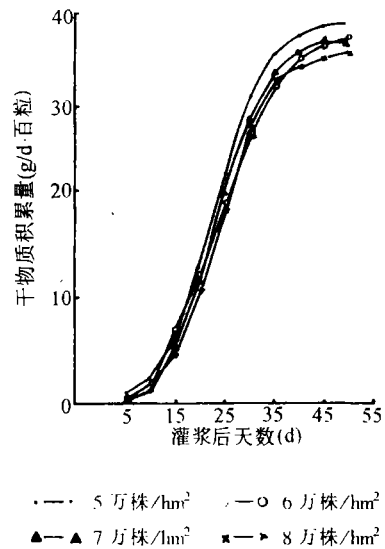


图 1 玉米子粒干物质变化

表 1 玉米子粒干物质积累特征值

特征值	5 万株/hm ²	6 万株/hm ²	7 万株/hm ²	8 万株/hm ²
a	4.5582	3.6476	4.4124	4.7435
b	0.1987	0.1509	0.1905	0.2016
c	38.3163	37.8060	36.3596	35.3599
最大积累速度出现时间(d)	23	25	24	24
最大积累速度(g/d·百粒)	3.8067	2.8650	3.4632	3.5639
TR	19.6244**	24.1607**	20.0227**	10.2866**

TR_{0.01} = 3.707

** 为 1% 水平显著

表 1 显示,种植密度在 5 万株/hm²的子粒干物质积累最大值出现较早,为开始灌浆后的第 23 d,最大积累速度为 3.8067 g/d·百粒;而 6 万株/hm²的子粒干物质积累最大值出现较晚,为开始灌浆后的第 25 d,最大积累速度为 2.8650 g/d·百粒。

2.2 子粒蛋白质积累变化

灌浆到成熟期不同种植密度下玉米子粒的定期测定结果见表 2。

表 2 不同种植密度灌浆到成熟期子粒蛋白质含量 (单位:g/百粒)

取样日期(月·日)	5 万株/hm ²	6 万株/hm ²	7 万株/hm ²	8 万株/hm ²
8·25	2.754	2.252	2.038	2.202
8·30	2.808	2.890	2.276	2.906
9·05	4.110	3.060	2.914	3.096
9·10	4.274	3.496	3.028	3.530
9·15	4.118	3.622	3.248	3.998
9·20	3.808	3.882	3.236	3.496

表 2 结果表明,不同密度处理间子粒蛋白质含量差异较大。其中 5 万株/hm²和 8 万株/hm²的处理子粒蛋白质积累呈 $y = b_0 + b_1x + b_2x^2$ 曲线变化,而 6 万株/hm²和 7 万株/hm²则呈 $y = \frac{c}{1 + e^{a-bx}}$ 曲线变化(见图 2)。式中 y 为子粒蛋白质积累(g/d·百粒), x 为开始灌浆后的天数, $x \geq 25$ 。对 5 万株/hm²和 8 万株/hm²两个处理的蛋白质积累曲线,

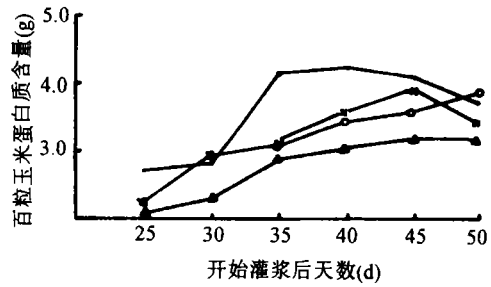


图 2 玉米子粒蛋白质积累变化

$y = b_0 + b_1x + b_2x^2$ 求一阶导数 $\frac{dy}{dx}$, 并令 $\frac{dy}{dx} = 0$, 可得到百粒玉米蛋白质含量最大值出现的时间为 $x = -\frac{b_1}{2b_2}$ 。回代曲线中,可得到蛋

白质含量最大值及其积累速度(见表 3)。对 6 万株/hm²和 7 万株/hm²的两个处理,利用 2.1 中的方法可得到其特征值(见表 4)。

表 3 玉米子粒蛋白质积累变化特征值

处理 (万株/hm ²)	b_1	b_2	最大值出现日期 (开始灌浆后天数)	最大值 (g/百粒)	积累速度 (g/d·百粒)	F 值	备注
5	0.4644	-0.0054	42	4.14	0.44	7.2006 [*]	$x \geq 25$
8	0.3216	-0.0035	45	3.72	0.01	16.8083 ^{**}	$x \geq 25$

$F_{0.05} = 5.99, F_{0.01} = 13.7$ * 为 5% 水平显著, ** 为 1% 水平显著

表 3 显示:密度在 5 万株/hm²和 8 万株/hm²的处理百粒蛋白质含量最大值为 4.14 g 和 3.72 g, 分别出现在开始灌浆后的 42 d 和 45 d, 该日积累速度分别为 0.44 g/d·百粒和 0.01 g/d·百粒, 且积累速度无最大值($dy/dx \neq 0$)。表 4 显示:6 万株/hm²和 7 万株/hm²蛋白质积

累最大速度值为 0.2495 g/d·百粒和 0.3094 g/d·百粒,均在开始灌浆后第 24 d 出现,其百粒含量最大值就是它们的特征值(c),均在子粒开始灌浆后的第 45 d 左右出现。

表 4 玉米子粒蛋白质积累变化特征值

处 理 (万株/hm ²)	a	b	c	最大速度时间 (开始灌浆后天数)	最大速度 (g/d·百粒)	TR
6	2.9638	0.1254	3.9784	24	0.2495	8.5475**
7	4.5142	0.1892	3.2703	24	0.3094	6.2625**

TR_{0.01} = 4.604 ** 为 1% 水平显著

2.3 子粒脂肪积累变化

不同种植密度玉米子粒脂肪百粒含量随灌浆到成熟期的进程有较大差异(见表 5)。为研究方便对不同密度脂肪累积变化进行曲线拟合(除 6 万株/hm²外),均呈 $y = \frac{c}{1 + e^{a-bx}}$ 规律变化,其特征值见表 6。密度在 6 万株/hm²的百粒脂肪含量变化随灌浆至成熟呈直线 $y = 0.0314 + 0.0355x$ 变化(在 0.01 水平下,效果极显著),式中 $x \geq 25$ 。

表 5 不同种植密度灌浆至成熟期子粒脂肪含量 (单位:g/百粒)

取样日期(月·日)	5 万株/hm ²	6 万株/hm ²	7 万株/hm ²	8 万株/hm ²
8·25	1.024	0.890	0.808	0.896
8·30	1.050	1.014	1.024	1.070
9·05	1.512	1.364	1.420	1.376
9·10	1.540	1.534	1.316	1.478
9·15	1.810	1.714	1.600	1.516
9·20	1.806	1.680	1.614	1.646

表 6 玉米子粒脂肪积累变化特征值

处 理 (万株/hm ²)	a	b	c	最大速度时间 (开始灌浆后天数)	最大速度 (g/d·百粒)	TR
5	2.8848	0.1126	1.9447	26	0.1095	6.9031**
7	2.5999	0.1003	1.7817	26	0.0893	6.1856**
8	3.4278	0.1368	1.6816	25	0.1151	8.1082**

TR_{0.01} = 4.604 ** 为 1% 水平显著

从表 6 看出,公顷密度在 5、7、8 万株的三个处理中,8 万株/hm²的最大积累速度较另两个处理早 1 d,为开始灌浆后的第 25 d,且积累强度也最大(0.1151 g/d·百粒)。同时,8 万株/hm²的最大百粒脂肪含量(1.6816 g)小于 5 万株/hm²(1.9447 g)和 7 万株/hm²(1.7817 g)。表 5 显示,各密度下脂肪含量最大值分别出现在开始灌浆后的第 45 d、45 d、50 d 和 50 d。

2.4 子粒淀粉积累的变化

玉米子粒干物质主要由蛋白质、脂肪和淀粉等组成。由于不同种植密度下子粒蛋白质、脂肪积累的差异,致使淀粉积累产生差异。测定结果(表 7)表明;密度在 7 万株/hm²和 8 万株/hm²时,子粒淀粉变化可分别表示为 $y = -42.4971 + 3.1691x - 0.0371x^2$ 和 $y = 4.616 +$

1.6279x(两式中 $x \geq 25$)。两个方程均在 0.01 水准下效果极显著,5 万株/hm²和 6 万株/hm²则呈 $y = \frac{c}{1 + e^{a-bx}}$ 规律变化,其特征值见表 8。

表 7 不同种植密度的子粒淀粉含量 (单位:g/百粒)

取样日期(月·日)	5 万株/hm ²	6 万株/hm ²	7 万株/hm ²	8 万株/hm ²
8·25	16.756	12.820	13.484	14.882
8·00	19.844	16.256	19.556	17.426
9·05	24.116	21.298	22.444	21.263
9·10	29.046	23.478	25.480	25.076
9·15	31.284	24.552	24.810	23.724
9·20	31.640	25.738	23.350	25.990

表 8 玉米子粒淀粉累积变化特征值

处 理 (万株/hm ²)	a	b	c	最大速度时间 (开始灌浆后天数)	最大速度 (g/d·百粒)	TR
5	5.0187	0.1882	31.9996	27	3.0119	10.5807**
6	4.5359	0.1719	26.0339	27	2.2382	11.4953**

TR_{0.01} = 4.604 ** 为 1% 水平显著

求式 $y = 3.1691x - 0.0371x^2$ 的一阶导数 $\frac{dx}{dy}$, 并令 $\frac{dx}{dy} = 0$, 得到 $x = 43$ 。即 7 万株/hm²处理在开始灌浆后第 43 d 时百粒淀粉含量达最大值, 为 25.18 g。密度在 8 万株/hm²的百粒淀粉含量则随灌浆进程而直线增加。

表 8 显示玉米子粒淀粉积累最大速度对 5 万株/hm²和 6 万株/hm²两个处理来讲, 均出现在开始灌浆后的第 27 d, 最大积累速度分别为 3.0119 g/d·百粒和 2.2382 g/d·百粒, 百粒淀粉最大含量为 31.9996 g 和 26.0339 g。

2.5 玉米子粒含水量的变化

普查玉米子粒的水分百分含量和百粒水分含量之间的相关性, 得到各密度下二者的相关系数分别为: $R_5 = 0.9016^{**}$ 、 $R_6 = 0.7458^*$ 、 $R_7 = 0.8706^{**}$ 和 $R_8 = 0.8797^{**}$, 均达到显著性和极显著性水平 ($R_{0.05} = 0.7067$, $R_{0.01} = 0.8343$), 从而可通过研究百粒水分含量的变化来研究玉米子粒灌浆到成熟过程中的水分变化。

图 3 是不同密度下玉米子粒灌浆至成熟期的百粒水分含量变化曲线。这些曲线可分别描述为:

$$5 \text{ 万株/hm}^2: y = 25.7167 - 0.3367x \quad (2.5-1)$$

$$6 \text{ 万株/hm}^2: y = 12.3119 + 0.419x - 0.0089x^2 \quad (2.5-2)$$

$$7 \text{ 万株/hm}^2: y = 3.0345 + 0.7864x - 0.0139x^2 \quad (2.5-3)$$

$$8 \text{ 万株/hm}^2: y = 21.0524 - 0.2624x \quad (2.5-4)$$

各式中 y 为百粒玉米水分含量(g), x 为开始灌浆后的天数 ($x \geq 15$)。上述各式均达显著或极显著水平。

式(2.5-1)、(2.5-4)表明在 5 万株/hm²和 8 万株/hm²两个密度下, 子粒水分含量随灌浆至成熟进程而直线减少。

对式(2.5-2)求一阶导数 $\frac{dx}{dy}$,令 $\frac{dx}{dy}=0$,解得 $x=24$ 。即在6万株/hm²密度下子粒水分含量在灌浆后24 d出现一极大值,然后随灌浆到成熟的进程而下降。

对式(2.5-3)求一阶导数,并令 $dx/dy=0$ 。解得在7万株/hm²密度下子粒水分含量在灌浆后第28 d出现一极大值,而后迅速脱水下降。

2.6 子粒内含物的相关性

子粒内含物之间相关分析显示,这些内含物之间均呈正相关关系,密度间无差异。详见表9。

表9 子粒内含物的相关系数(r)

5万株/hm ²					6万株/hm ²				
内含物	干物质	蛋白质	脂肪	淀粉	内含物	干物质	蛋白质	脂肪	淀粉
干物质		0.9304**	0.9654**	0.9696**	干物质		0.9842**	0.9654**	0.9696**
蛋白质			0.8569*	0.9645**	蛋白质			0.8569*	0.9645**
脂肪				0.9646**	脂肪				0.9646**
淀粉					淀粉				
7万株/hm ²					8万株/hm ²				
内含物	干物质	蛋白质	脂肪	淀粉	内含物	干物质	蛋白质	脂肪	淀粉
干物质		0.9881**	0.9514**	0.9634**	干物质		0.9349**	0.9881**	0.9595**
蛋白质			0.9774**	0.9369**	蛋白质			0.8904*	0.8806**
脂肪				0.8667*	脂肪				0.9842**
淀粉					淀粉				

$r_{0.05}=0.8114, r_{0.01}=0.9172$ *为5%水平显著, **为1%水平显著

3 讨论

玉米子粒干物质的积累是子粒产量形成的关键。本试验子粒干物质积累的变化表明,不同种植密度条件下,干物质积累的最大速度出现在开始灌浆后的23~25 d。此时是干物质积累或产量形成的关键时期。如此时出现脱肥或不适的条件,将引起子粒百粒重的下降,延迟成熟而导致减产和品质下降。

相关分析结果显示:玉米子粒干物质积累与其蛋白质、脂肪和淀粉的积累呈正相关关系,也就是说干物质的积累直接影响了其组成成分的变化。从高产优质玉米生产及玉米综合加工利用的目的出发,可依此综合考虑玉米的适时收获时间问题。这样,一方面可获得蛋白质、脂肪或淀粉的较高产量,另一方面又不会使玉米子粒产量下降。依

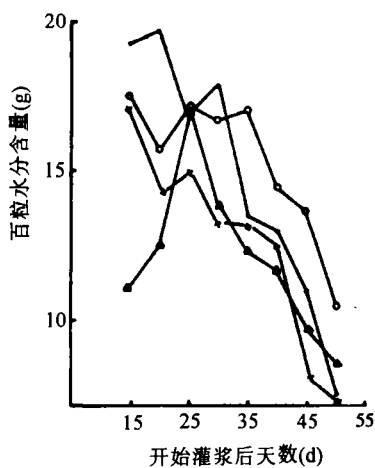


图3 子粒水分含量变化
 ···· 5万株/hm² ○—○ 6万株/hm²
 ▲—▲ 7万株/hm² ■—■ 8万株/hm²

图3 子粒水分含量变化

据子粒内含物变化规律考虑在其最大值出现时期及时收获,以获得高产优质的玉米子粒。本研究结果指出,公顷种植密度5、6、7、8万株的玉米,若以获取蛋白质产量为目的,分别在开始灌浆后的42 d、45 d、45 d和45 d左右蛋白质含量最高,即腊熟期收获;以获取脂肪产量

为目的,则以开始灌浆后的第45 d、45 d、50 d和50 d左右,即腊熟到成熟期收获为宜;若以获取高产量的淀粉,则最好在腊熟后期到成熟期收获。

子粒水分含量在不同密度间变化不同。较小密度(5万株/hm²)和较大密度(8万株/hm²)随灌浆到成熟进程呈直线下降,而较适密度(6~7万株/hm²)则在灌浆或子粒充实高峰期出现一个峰值后迅速下降。

本研究只限于玉米子粒灌浆至成熟期干物质积累及其内含物的变化。至于种植密度对玉米子粒最终产量及其内含物的影响,由于试验年限短,尚不能得出最后结论,有待于进一步研究。

参 考 文 献

- 1 M Ahmadi等.影响玉米子粒特性的农业措施.国外农学——杂粮作物,1994,(4):30-33
- 2 王鹏文等.玉米高产优质研究 II.成熟过程中子粒蛋白质、氨基酸含量.沈阳农业大学学报,1996,(2)
- 3 吴建宇等.玉米不同收获期的子粒品质研究.河南农业大学学报,1994,(1):92-94
- 4 J S Graybill et al. Yield and quality of forage maize was influenced by hybrid, planting date, and plant density. Agronomy Journal, 1991, 83: 559-564
- 5 Lucas E O. The effect of density and nitrogen fertilizer on the growth and yield of maize (*Zea mays* L.) in Nigeria. J. Agric. Sci. (Cambridge), 1986, 107: 573-578
- 6 F D Cloninger et al. Effect of harvest date, plant density, and hybrid on corn grain quality. Agro. J., 1975, 67: 693-695
- 7 Alexander D E et al. Relation of kernel oil content and some agronomic traits in maize. Crop Sci., 1963, 3: 354-355
- 8 Genter C F. Effect of location, hybrid, fertilizer, and rate of planting on the oil and protein contents of corn grain. Agron. J., 1956, 48: 63-67
- 9 Johnson R R et al. Corn plant maturity I. Changes in dry matter and protein distribution in corn plants. Agron. J., 1966, 58: 151-153
- 10 M S King, M S Zuber et al. Effects of certain agronomic traits on and relationship between rates of grain-moisture reduction, and grain fill during the filling period in maize. Field Crops Research, 1986, (14): 33-34
- 11 P J Bauer and P R Carter. Effect of seeding date, plant density, moisture availability and soil nitrogen fertility on maize kernel breakage susceptibility. Crop Sci., 1986, 26: 1221-1226
- 12 牛森等编写.作物品质分析.北京:农业出版社,1992

Researches on the Changes of Kernel Content of Maize among 4 Plant Densities During Filling-maturing Stage

WANG Pengwen and LIU Pengfei

(Jilin Academy of Agricultural Science, Gongzhuling 136100)

Abstract Through determined the kernel content of maize (g/100grain). Among 4 plant densities, the changes of dry matter accumulation, protein, lipid, starch and moisture in maize kernel during filling-maturing stage were studied. The results showed: The changes of dry matter accumulation of maize kernel were tally with Logistic curves among 4 plant densities; The changes of protein, lipid, starch and moisture in maize kernel were different among 4 plant densities. The basic change patterns of them were $y = b_0 + b_1x$, $y = b_0 + \sum_1^n b_n x^n$ and $y = \frac{c}{1 + e^{a-bx}}$.

Key words Maize, Plant density, Kernel content

(责任编辑:任 禾)