

夏玉米叶片 $\delta^{13}\text{C}$ 与叶重、水分利用效率及产量的关系研究

项艳¹, 龚道枝², 白清俊¹, 梅旭荣², 栗雨勤³

(1. 山东农业大学 水利土木工程学院, 山东 泰安 271018; 2. 中国农业科学院 农业环境与可持续发展研究所, 农业部旱作节水农业重点开放实验室, 北京 100081; 3. 河北省农林科学院 旱作节水农业研究所, 河北 衡水 053000)

摘要: 采用 LSD 法对夏玉米两品种(郑单 958 和鲁单 981) 及各水分处理间植株叶片 $\delta^{13}\text{C}$ 进行方差分析, 并将其与叶重、水分利用效率及产量间关系进行了定性分析, 以期改进旱地和节水农业栽培及选育抗性品种提供参考价值。研究发现: 鲁单 981 较郑单 958 长势快、株高高、抗倒伏性差, 但前者的产量却高于后者; 两品种间植株叶片 $\delta^{13}\text{C}$ 值差别不明显; 不同作物品种相同水分处理间因遗传因素的影响导致其 $\delta^{13}\text{C}$ 值有所差异, 相同品种不同水分处理间也因环境因素的影响致使其 $\delta^{13}\text{C}$ 值有所不同; 两品种间植株叶片 $\delta^{13}\text{C}$ 值与产量均表现出一致的负相关趋势, 但与叶重、水分利用效率却均呈现出相反的相关趋势。其中, 在与叶重的相关性中, 郑单 958 表现出正相关性, 而鲁单 981 表现出负相关性; 在与水分利用效率的相关性中, 郑单 958 呈负相关趋势, 而鲁单 981 则呈正相关趋势。

关键词: 夏玉米; 叶片 $\delta^{13}\text{C}$; 水分利用效率; 产量

中图分类号: S573 文献标识码: A 文章编号: 1000-7091(2009)04-0119-05

The Relationship between $\delta^{13}\text{C}$ Values of Summer Maize Leaves and Leaf Weight, Water Use Efficiency and Yield

XIANG Yan¹, GONG Dao-zhi², BAI Qing-jun¹, MEI Xu-rong², LI Yu-qin³

(1. Water Conservancy and Civil Engineering College, Shandong Agricultural University,

Tai'an 271018, China; 2. Institute of Environment and Sustainable Development in Agriculture,

Chinese Academy of Agriculture Science, Beijing 100081; 3. Institute of Dryland Farming and

Water-saving Agriculture, Hebei Academy of Agriculture and Forestry Sciences, Hengshui 053000, China)

Abstract: In order to supply references to ameliorating dry land, water-saving agricultural cultivation and choosing resistant varieties, the paper analyzed $\delta^{13}\text{C}$ variance of two maize varieties (Zhengdan 958 and Ludan 981) and water treatments in LSD, and carried on a qualitative analysis on its relationship with leaf weight, water use efficiency and yield. The study found that Ludan 981 had a faster growth, higher plant height and worse lodging resistance than Zhengdan 958, but the yield of the former was higher than the latter. The difference of $\delta^{13}\text{C}$ value of leaves between the two varieties was not obvious. Different varieties of the same water treatment lead to different $\delta^{13}\text{C}$ values as a result of genetic factors, and the same variety of different water treatment resulted in different $\delta^{13}\text{C}$ values due to environmental factors. The $\delta^{13}\text{C}$ values of the two varieties showed a consistent trend of negative correlation with yield, but a opposite trend with leaf weight and water use efficiency. Among them, with emphasis on the relevance of leaf weight, the Zhengdan 958 showed positive correlation, but Ludan 981 showed negative correlation; with emphasis on the relevance of water use efficiency, the Zhengdan 958 was a negative correlation trend, but Ludan 981 was a positive correlation trend.

Key words: Summer maize; $\delta^{13}\text{C}$ value of leaves; Water use efficiency; Yield

目前, 稳定碳同位素技术已被广泛地应用于植物生理、生态环境及全球变化等领域, 它能够揭示循

环过程中所包含的物理、化学、代谢、气候、环境等诸多方面的信息^[1], 尤其在植物生理生态学、农作物养

收稿日期: 2009-03-18

基金项目: 中央基本业务费资助项目; 国家科技支撑计划资助课题(2006BAD29B02; 2007BAD88B03); 国际原子能机构基金资助项目(CRP-14532); 国家自然科学基金项目(30871447); 山东省自然科学基金(2007ZRB019B6)

作者简介: 项艳(1982-), 女, 山东潍坊人, 硕士, 主要从事节水灌溉原理与技术研究。

通讯作者: 梅旭荣(1963-), 男, 山东莱州人, 研究员, 主要从事旱作农业与节水高效农业理论与技术研究。

分吸收利用、优质种质的选育及古环境、古气候的重建等方面有很好的指示作用^[2,3]。

植物是通过光合作用固定大气中的 CO₂ 来合成自身组成物质的。碳是植物有机化合物的重要组成部分,植物在吸收同化大气中相对富集¹³C 的 CO₂ 进行光合作用的过程中发生同位素分馏,使合成的有机化合物中富集¹²C。此分馏作用既受遗传因素控制,也直接或间接地受植物生长时期环境状况的影响。本研究通过研究玉米不同品种间叶片¹³C 与叶重、水分利用效率及产量间的相互关系,从中探寻植物长期的光合特性与各生理形态指标的内在联系,以期改进旱地和节水农业栽培及选育抗性品种提供参考价值。

1 材料和方法

1.1 研究区概况

试验区位于河北省农林科学院旱作节水农业试验站,该地地处河北平原中部、滹沱河古冲洪积扇的前缘,属于潮土地带,为洪积冲积黄土。其地理位置处于东经 115°10′~116°34′、北纬 37°03′~38°23′,该区地势平坦,海拔为 17.5~28 m,是河北省重要的粮棉生产基地。

该区属大陆季风气候区,为温暖半干旱型,气候四季分明,冷暖干湿差异明显,无霜期 200 d 左右,年平均降水量 510 mm,80% 集中在 6~8 月份。全年 ≥0℃ 的积温为 4 863℃。年日照 2 563 h,光照充足,适于农作物生长。但因四季降水不均,易旱、涝和干热风危害。由于降水较少、空间分布不均及年内分配不均等原因,导致该地农业生产不稳定。

1.2 试验设计

选取 2 个耗水特性差异较大的玉米品种(郑单 958 与鲁单 981)进行种植,出苗后缺苗处及时补栽预备苗。播种时间为 2008 年 6 月 15 日,收获时间为 2008 年 9 月 24 日。设 4 个水分处理即 0 水、1 水、2 水和 3 水,3 个重复,各水分处理灌水情况见表 1,灌溉方式采用畦灌。各水分处理试验面积均为 12 m×7.8 m,随机区组排列,处理间设 80 cm 的隔离带,且埋设 1 m 深的塑料膜做防侧渗处理。两个玉米品种在各水分处理试验区中均匀种植,株距为 27 cm,行距为 60 cm。试验区于播种前进行施肥翻耕,施肥量为磷肥 750 kg/hm²、尿素 300 kg/hm²,所有小区施肥水平、耕作措施和病虫害防治措施相同。全生育期降雨量为 346.3 mm。

1.3 测定指标及方法

于收获前取整株玉米的所有叶片为研究对象,

采样时将叶片表面的尘土等杂质用毛刷刷净,放入烘箱 105℃ 杀青 30 min,于 80℃ 下烘至恒重,用万分之一的电子感应天平称重后粉碎,过 90 目筛后制成供试样品,封存于密封塑料袋内以备分析用。取适量于锡箔筒内挤压密实后,经高温燃烧成 CO₂,用 EA-IRMS DELTA plus 质谱仪测定碳同位素比率,仪器灵敏度为 5×10⁻³ A/Pa,测定误差为 ±1‰~3‰,以 PDB(一种出自美国南卡罗来那州的碳酸盐陨石)为标准,用如下公式计算^[4]:

$$\delta^{13}C(\text{‰}) = [(R_p/R_s) - 1] \times 1000$$

式中: R_p 是样品中碳元素的重轻同位素丰度之比; R_s 是国际通用标准物的重轻同位素丰度之比。产量于收获前取样考种测定。

表 1 各水分处理的灌水情况

Tab. 1 The irrigation situation of all the treatments

处理 Treatments	各生育期灌水量/mm Irrigation quantity of different maize growing periods		
	拔节期 Elongation 07-27	抽雄吐丝期 Tasselling aiking stage 08-16	灌浆期 Grain filling 08-30
0 水 No irrigation			
1 水 1 irrigation		60	
2 水 2 irrigation	60	60	
3 水 3 irrigation	60	60	60

2 结果与分析

2.1 玉米不同品种间叶片¹³C 的差异研究

在植物光合作用吸收 CO₂ 过程中,会对重同位素¹³C 产生排斥,导致光合产物中¹³C/¹²C 比率比大气 CO₂ 中的低。不同光合途径(C₃、C₄ 和 CAM)因光合羧化酶和羧化时空上的差异对¹³C 有不同的识别和排斥,导致不同光合途径的植物具有显著不同的 δ¹³C 值^[5]。从图 1 可看出,用质谱仪测量的郑单 958、鲁单 981 的植株叶片 δ¹³C 的值分别为-12.286~-12.802 和-12.410~-12.994,均在 C₄ 植物 δ¹³C 值的取值范围-7‰~-15‰内^[5,6-8];不同作物品种相同水分处理间因遗传因素的影响导致其 δ¹³C 值有所差异,郑单 958 植株叶片的 δ¹³C 平均值稍大于鲁单 981,相同品种不同水分处理间也因环境因素的影响致使其 δ¹³C 值有所不同,从表 2 亦可看出。根据运入维管束鞘的 C₄ 化合物和脱羧反应的不同, C₄ 光合途径有 3 种类型(NADP-ME 型、NAD-ME 型和 PCK 型)。3 种类型由于结构和生理生化的区别,使得其维管束鞘细胞的 CO₂ 传导性即叶肉组织泄露已脱羧的 CO₂ 的速率有所不同,从而使 3 种类型 C₄ 植物的 δ¹³C 值出现差异,由此可推测,两品种可能分属于 C₄ 光合途径的不同

类型,但两品种间的差异不显著,表明同一光合途径的不同品种的植物其库-源差异不大,从而使植株叶片 $\delta^{13}\text{C}$ 值受遗传因素差别影响较小,致使品种间差异不显著。

玉米生育期内水分充足,遭受水分胁迫不严重,因此,4个水分处理间 $\delta^{13}\text{C}$ 值只表现出细微的差别,表明此试验中植株叶片 $\delta^{13}\text{C}$ 值受水分影响较小,水分对植株生长并不是一个主要限制因子,但 $\delta^{13}\text{C}$ 值的微小差别反映了其生理活动具有较大差异。Hattersley P W^[9,10] 研究表明植物的 $\delta^{13}\text{C}$ 值的差别决定于其遗传特性,在良好而较稳定的生态环境中, $\delta^{13}\text{C}$ 值的变动较少,非逆境的环境条件的变化可导致其高达 $\pm 3\% \sim 5\%$ 的变幅。

表 2 玉米品种间及水分处理间 $\delta^{13}\text{C}$ 值的方差分析

Tab. 2 The analysis of variance of $\delta^{13}\text{C}$ values with different maize varieties and different water treatments

差异源 Differences in source	SS	df	MS	F	F _{0.05}	F _{0.01}
品种间 Between different varieties	0.128 481	1	0.128 481	0.931 731	4.300 949	7.945 386
水分处理间(郑单 958) Among different water treatments(Zhengdan 958)	4.690 526	3	1.563 509	0.030 967	3.490 295	5.952 545
水分处理间(鲁单 981) Among different water treatments(Ludan 981)	1.373 253	3	0.457 751	0.009 218	3.490 295	5.952 545

2.2 玉米叶片 ^{13}C 与叶重关系

植物光合作用受很多环境因素的影响,如光照、温度、水分等。玉米的生长、发育对生态因子的需求具有一定的适应范围,只有在一定的环境范围内才会达到最大光合生长,光合速率和生长速率才能随着生态因子的增强而增加,作物的生物量和产量

也才能达到最大水平,产品质量也会随之提高。

从图 2 知,植株叶片 $\delta^{13}\text{C}$ 值与叶重的相关性较差,且两品种间呈现出相反的相关趋势,郑单 958 表现出正相关性,而鲁单 981 表现出负相关性,可能是由于品种间遗传特性不同造成的。

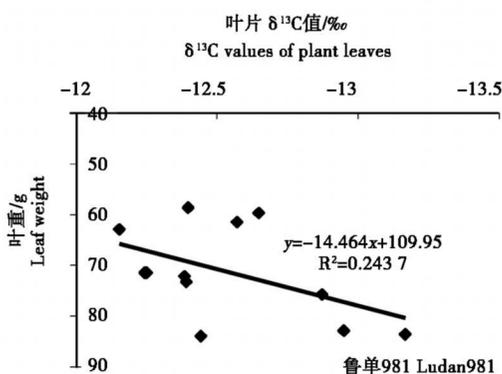
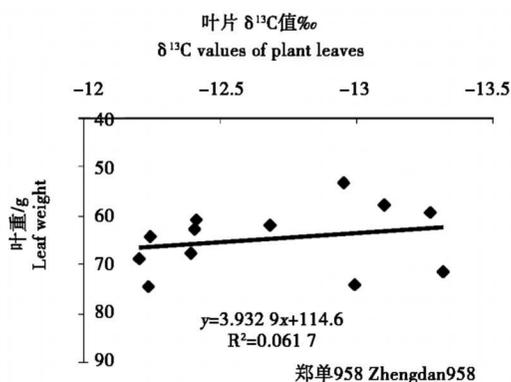


图 2 植株叶片 $\delta^{13}\text{C}$ 与叶重的关系

Fig. 2 The relationship of $\delta^{13}\text{C}$ of plant leaves and leaf weight

2.3 玉米叶片 ^{13}C 与水分利用效率的关系

水分利用效率是植物同化 CO_2 和 H_2O 制造有机物质能力大小的一个综合指标。以前的研究大都注重植物对干旱环境的适应,以及对水分胁迫的响应^[11,12]。植物叶片 $\delta^{13}\text{C}$ 值的大小能够很好地反映与植物光合、蒸腾强度相关联的水分利用效率^[13], Farquhar 等^[15] 认为植物叶片 $\delta^{13}\text{C}$ 值可以用来间接指示植物的长期水分利用效率,植物对 $^{13}\text{CO}_2$ 判别能

力的大小是植物水分利用效率的有效指标^[14-17]。

从图 3 可以看出郑单 958 植株叶片 $\delta^{13}\text{C}$ 值与其水分利用效率呈现出负相关趋势,且相关性较好,而鲁单 981 则呈现出正相关趋势,且相关性较差,一方面是由于田间条件下水分利用效率的影响因素较为复杂,使两者的相关性表现出不同的态势;另一方面也可能是由于气孔导度对水分限制响应遗传上的差异或干旱的持续时间和强度的差异引起的^[18,19]。在

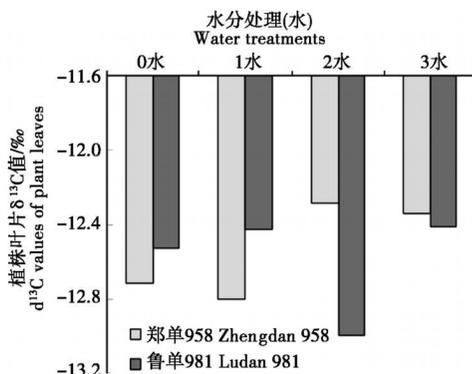


图 1 不同品种间各水分处理植株叶片 $\delta^{13}\text{C}$ 值
Fig. 1 $\delta^{13}\text{C}$ values of plant leaves of different irrigation treatments from different varieties

整个生育期过程中,由于鲁单 981 长势较快,茎粗较细,株高较郑单 958 高,遭遇暴风雨时出现了严重倒

伏现象,严重影响了鲁单 981 产量的形成,水分利用效率也因此受到一定影响,致使两者的相关性较差。

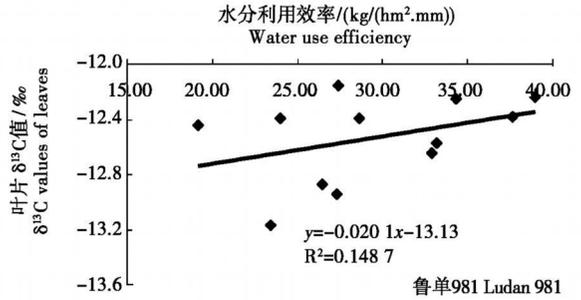
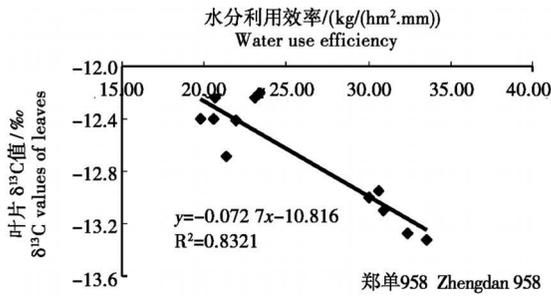


图3 玉米叶片 $\delta^{13}\text{C}$ 值与其水分利用效率间的关系

Fig. 3 The relationship of $\delta^{13}\text{C}$ value of maize leaves and its water use efficiency

2.4 玉米叶片 $\delta^{13}\text{C}$ 与产量的关系

光合作用是植物的原始生产力,对生物生产起决定性作用,通过其形成碳水化合物是产量形成的主要物质基础。Tieszen 对一些作物如小麦、花生、水稻不同品种的产量与 $\delta^{13}\text{C}$ 关系进行初步研究,认

为两者间具有线性关系。

从图 4 可以看出两玉米品种的植株叶片 $\delta^{13}\text{C}$ 值与产量均表现出较差的负相关性。亦可看出,鲁单 981 的产量经折算后平均值要高于郑单 958 的平均值。

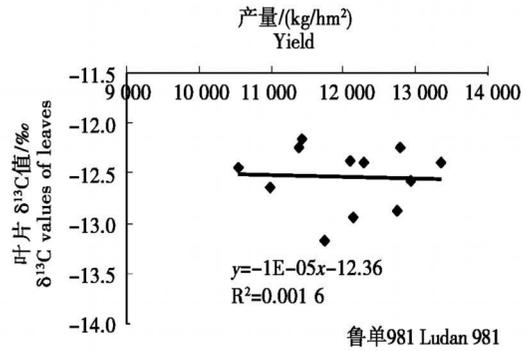
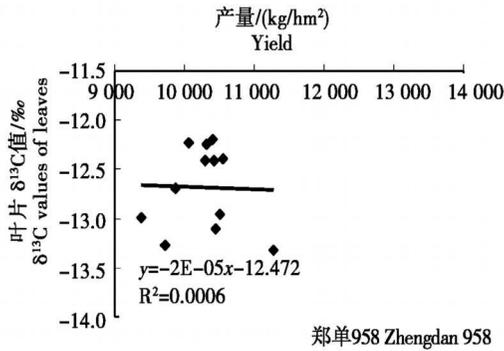


图4 玉米叶片 $\delta^{13}\text{C}$ 值与产量间的关系

Fig. 4 The relationship of $\delta^{13}\text{C}$ values of maize leaves and yield

3 结论与讨论

通过研究发现,两个品种间植株叶片 $\delta^{13}\text{C}$ 值差别不明显;不同作物品种相同水分处理间因遗传因素的影响导致其 $\delta^{13}\text{C}$ 值有所差异,相同品种不同水分处理间也因环境因素的影响致使其 $\delta^{13}\text{C}$ 值有所不同。

两品种间植株叶片 $\delta^{13}\text{C}$ 值与产量均表现出一致的负相关趋势,但与叶重、水分利用效率却均呈现出相反的相关趋势。其中,在与叶重的相关性中,郑单 958 表现出正相关性,而鲁单 981 表现出负相关性;在与水分利用效率的相关性中,郑单 958 呈负相关趋势,而鲁单 981 则呈正相关趋势。对于致使两玉米品种间呈现相反相关趋势的原因问题还有待于进一步试验研究。

相同水分条件下,鲁单 981 较郑单 958 长势快、株高高、抗倒伏性差,但前者的产量却高于后者。

参考文献:

- [1] 梁银丽,康绍忠,山仑. 水分和氮磷水平对小麦碳同位素分辨率和水分利用效率的影响[J]. 植物生态学报, 2000, 24(3): 289-292.
- [2] 赵兴云,王建,钱君龙,等. 天目山柳杉树轮 $\delta^{13}\text{C}$ 年序列差异[J]. 应用生态学报, 2006, 17(3): 362-367.
- [3] 郑淑霞,上官周平. 陆生植物稳定碳同位素组成与全球变化[J]. 应用生态学报, 2006, 17(4): 733-739.
- [4] Kloeppel B D, Gower S T, Treichel I W, et al. Foliar carbon isotope discrimination in *Larix* species and sympatric evergreen conifers: a global comparison [J]. *Oecologia*, 1998, 114: 153-159.
- [5] Farquhar G D, Ehleringer J R, Hubick K T. Carbon isotope discrimination in photosynthesis [J]. *Annual Review of Plant Physiology and Molecular Biology*, 1989, 40: 503-537.
- [6] 陈英华,胡俊,李裕红,等. 碳稳定同位素技术在植物水分胁迫研究中的应用[J]. 生态学报, 2004, 24(5): 1027-1031.
- [7] O'Leary M H. Carbon isotope fractionation in plants [J]. *Phytochemistry*, 1981, 20: 553-567.

- [8] Lin Z F. Application of stable carbon isotope in plant physiology and ecology [J] . *Plant Physiology Communications*, 1990, 3(3) : 1- 6.
- [9] Hattersley P W. $\delta^{13}\text{C}$ values of C₄ types in grasses [J] . *Aust J Plant Physiol*, 1982, 9: 139.
- [10] Hattersley P W, Roksandic Z. $\delta^{13}\text{C}$ values of C₃ and C₄ species of Australian nearctic and its allies (Poaceae) [J] . *Aust J Bot*, 1983, 31: 317.
- [11] 冯虎元, 安黎哲, 陈 拓, 等. 马先蒿属植物稳定碳同位素组成与环境因子之间的关系 [J] . *冰川冻土*, 2003, 25(1) : 88- 93.
- [12] 朱永华, 仵彦卿, 吕海深, 等. 植物生长条件下荒漠土壤水分预报的数学模型 [J] . *冰川冻土*, 2001, 23(3) : 264- 269.
- [13] Lajtha K, Michener R H. Stable isotopes in ecology and environmental science [M] . London: Blackwell Scientific Publications, 1994: 1- 5.
- [14] Farquhar G D, Hubick K T, Condon A G, *et al.* Carbon isotope fractionation and plant water-use efficiency [C] // *Stable Isotope in Ecological Research*. New York: Springer-Verlag, 1989: 21- 40.
- [15] Schuster W S F, Sandquist D R, Phillips S L, *et al.* Comparisons of carbon isotope discrimination in population of arid land plant species differing in lifespan [J] . *Oecologia*, 1992, 91: 332- 337.
- [16] Farquhar G D, Richards R A. Isotopic composition of plant carbon correlates with water-use efficiency of wheat genotypes [J] . *Aust J Plant Physiology*, 1984, 11: 539- 552.
- [17] Marshall J D, Zhang J. Carbon isotope discrimination and water-use efficiency in native plants of the north-central Rockies [J] . *Ecology*, 1994, 75: 1887- 1895.
- [18] Saranga Y, Flash I, Paterson A H, *et al.* Carbon isotope ratio in cotton varies with growth stage and plant organ [J] . *Plant Science*, 1999, 142(1) : 47- 56.
- [19] Hall A E, Muters R G, Hubick K T, *et al.* Genotypic differences in carbon isotope discrimination by cowpea under wet and dry field conditions [J] , *Crop Sci*, 1990, 30(2) : 300- 305.