

УДК: 574.24

## **Реакция растений на рост концентрации углекислого газа в атмосфере**

Акатов П. В.

В статье дан краткий обзор возможных изменений в растительном покрове при увеличении концентрации углекислого газа в атмосфере.

Ключевые слова: углекислый газ, растительность, фотосинтез, продуктивность, транспирация.

## **Response of plants to rising of atmospheric carbon dioxide**

Akatov P. V.

The published data on response of plants to rising of atmospheric carbon dioxide are reported.

Keywords: carbon dioxide, plants, photosynthesis, transpiration.

### **Введение**

В последние десятилетия накопление углекислого газа в атмосфере является одной из ключевых проблем, активно обсуждаемых учеными, политиками и СМИ. Основное внимание при этом сконцентрировано на его способности влиять на глобальный климат. Гораздо реже обсуждается непосредственное (прямое) влияние роста концентрации этого газа на рост и развитие растений. В России эта тема почти не обсуждается и информация по ней в русскоязычных изданиях крайне ограничена.

### **Цель исследования**

Целью работы являлось восполнение недостающих знаний по прямому влиянию углекислого газа на рост и развитие растений.

## Результаты и обсуждение

### *Рост концентрации CO<sub>2</sub> и интенсивность фотосинтеза*

Фотосинтез — это процесс преобразования атмосферного углерода в форме молекул CO<sub>2</sub> в зеленую массу растений. Для фотосинтеза требуется также солнечный свет и вода. Все три фактора являются обязательными, отсутствие любого из них делает этот процесс невозможным. По способу фиксации углекислого газа подавляющее большинство растений относятся к C<sub>3</sub> и C<sub>4</sub> типам. К группе C<sub>3</sub> принадлежит большинство известных видов растений. К группе C<sub>4</sub> — некоторые травянистые растения, в том числе важные сельскохозяйственные культуры: кукуруза, сорго, сахарный тростник, просо [5, 4]. C<sub>4</sub> механизм фиксации углерода выработался как приспособление к условиям низких концентраций углекислого газа в атмосфере. Практически у всех видов растений рост концентрации углекислого газа в воздухе приводит к активизации фотосинтеза и ускорению роста [9, 6, 14, 3], причем как надземных, так и подземных их частей. Зависимость скорости роста растений и накопления биомассы от концентрации CO<sub>2</sub> нелинейна и имеет логарифмический вид. У C<sub>3</sub> растений кривая начинает выходить на плато при концентрации углекислого газа более 1000 ppm. Однако у C<sub>4</sub> растений рост скорости фотосинтеза прекращается уже при концентрации углекислого газа в 400 ppm [8]. Поэтому современная его концентрация, составляющая на данный момент примерно 395 молекул на миллион (ppm) [15], уже практически достигла оптимума для фотосинтеза у C<sub>4</sub> растений, но всё ещё очень далека от оптимума для C<sub>3</sub> растений.

Таким образом, большинство современных растений используют далеко не весь свой потенциал. В [14] и [5] подробно описаны результаты экспериментов, показывающих значительный рост продуктивности дикорастущих и культурных видов растений по сравнению с современным уровнем в случае увеличения концентрации CO<sub>2</sub> примерно до 1000 ppm. Как правило, для травянистых растений увеличение прироста биомассы находится в диапазоне 25—60 % у C<sub>3</sub> растений и несколько меньше (10—55 %) у C<sub>4</sub> растений. Для древесных растений получены более высокие значения — 50—100 %, а у подростов деревьев они еще выше. По данным [6], удвоение текущей концентрации углекислого газа приведет (в среднем) к ускорению прироста биомассы у C<sub>3</sub> растений на 41 %, а у C<sub>4</sub> — на 22 %. Добавление в окружающий воздух 300 ppm CO<sub>2</sub> приведет к росту продуктивности у C<sub>3</sub> растений на 49 % и у C<sub>4</sub> — на 20 %, у фруктовых деревьев и бахчевых культур — на 24 %, бобовых — на 44 %, корнеплодных — на 48 %, овощных — на 37 %. При увели-

чении  $\text{CO}_2$  с 350 ppm до 1100 ppm фотосинтез у кукурузы усиливается на 15 %. У арахиса отмечен рост сухого веса на 19 % и 31 % при росте концентрации  $\text{CO}_2$  с 400 ppm до 800 ppm и 1200 ppm, соответственно [5]. В работе [11] показано, что на рост концентрации углекислого газа в атмосфере активно реагируют не только наземные растения, но и фитопланктон, причем как морей, так и пресноводных водоемов. Так, при удвоении современной концентрации углекислого газа продуктивность этого компонента водных экосистем увеличивается примерно на 50 %. Следует отметить, однако, что в случае дефицита в среде такого важного элемента как азот, влияние роста концентрации двуокиси углерода на продуктивность растений будет существенно (в 2 и более раз) ниже [5].

Во многих работах отмечается, что рост концентрации углекислого газа в последние 100—150, а то и 30 лет, уже заметно сказывается на состоянии растительности. Так, в [14] отмечено, что с 1971 по 1990 г., на фоне роста концентрации  $\text{CO}_2$  на 9 %, отмечалось увеличение содержания биомассы в лесах Европы на 25—30 %. За последние десятилетия область южной Сахары и прилегающих территорий заметно позеленела на спутниковых снимках [12]. Обширное исследование, проведенное в штате Мэриленд, выявило ускорение роста деревьев в 2—4 раза за последние 200 лет. Анализ причин ускорения роста растений показал, что главными факторами были рост температуры воздуха и рост концентрации углекислого газа в атмосфере [16]. С 1982 по 2010 г. в зоне полупустынь в целом на планете наблюдался рост зеленой массы растений на 11 % при неизменном количестве осадков [17].

#### *Влияние концентрации $\text{CO}_2$ на морфологию растений и физиологические процессы*

Кроме воздействия роста концентрации  $\text{CO}_2$  в атмосфере на продуктивность растений могут наблюдаться и другие эффекты. К наиболее значимым относят: морфологические изменения, снижение интенсивности транспирации, снижение чувствительности к недостатку света, повышение способности к адаптации к химическим загрязнителям, повышение температуры, оптимальной для фотосинтеза [9, 14]. В частности, в экспериментах отмечено увеличение (в среднем) размеров листовых пластинок у деревьев и кустарников, а также средних размеров плодов и корней [14]. При увеличении концентрации углекислого газа с 340 до 600 ppm наблюдается повышение водного потенциала листьев на 30 % [5]. Рост растений при низкой освещенности в условиях высокой концентрации углекислого газа происходит более активно, чем при современной концентрации, что может позволить таким рас-

тениям занимать новые экологические ниши. В результате может измениться структура многих лесных экосистем. Важным для растений является снижение интенсивности транспирации, так как это способствует более длительному удержанию воды в почве, что позволяет им переносить более длительные засушливые периоды. За последние 20 лет в бореальных и умеренных лесах Северного полушария отмечено существенное повышение эффективности использования воды растениями [7]. Но как отмечено в [2], снижение интенсивности транспирации может иметь и отрицательный эффект, поскольку вызовет повышение температуры листовых поверхностей.

### *Влияние концентрации CO<sub>2</sub> на другие компоненты экосистем*

Изменения растений и их сообществ в результате роста концентрации двуокиси углерода в атмосфере могут сказаться на других, как неживых, так и живых компонентах экосистем. Так, усиление роста растений приведет к росту биомассы (сухого веса) растительного покрова [10], что в свою очередь замедлит накопление в атмосфере углекислого газа. Логично также предположить, что по мере увеличения густоты и плотности растительного покрова снизится интенсивность поверхностного стока дождевых вод в реки и океаны, что будет способствовать росту количества осадков и, соответственно, росту увлажнения. Также весьма вероятно, что это ослабит проблемы водной и ветровой эрозии, опустынивания, паводков и обмеления рек.

Другие последствия могут оказаться не столь позитивными. Так, в [13] отмечено снижение содержания азота и белка в тканях растений, растущих при повышенной концентрации CO<sub>2</sub>. Как отмечено в [1], увеличение соотношения C/N наблюдалось почти всегда, и прежде всего в листьях. Авторы отмечают, что это негативно сказывается на росте и размножении травоядных животных. Из других возможных минусов иногда указывают на возможное обострение проблемы сорняков на полях и более высокий риск размножения насекомых-вредителей [18]. Необходимо также учитывать и возможные перемены в структуре экосистем, связанные с различной реакцией разных видов растений на рост концентрации CO<sub>2</sub>, а также изменением (снижением) отражательной способности (альбедо) растительного покрова [5].

### **Выводы**

Итак, из нашего краткого обзора следует, что прогнозируемый и уже наблюдаемый рост концентрации углекислого газа в атмосфере может оказывать влияние на растительный покров не только косвенно, изменяя климат,

но и непосредственно воздействуя на скорость роста, размер и биомассу растений, интенсивность транспирации воды растениями, биохимический состав их тканей. Это может оказать существенное влияние на состояние окружающей среды, региональный климат и хозяйственную деятельность человека.

## Литература

1. Зитте П., Вайлер Э. В., Кадерайт Й. В., Брезински А., Кёрнер К. Ботаника. Учебник для вузов. 35-е издание. Пер. М.: «Академия». 2007. – 256 с.
2. Carbon dioxide's effects on plants increase global warming, study finds. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, Web. May 4. 2010.
3. Curtis, P. S., Wang, X. A meta-analysis of elevated CO<sub>2</sub> effects on woody plant mass, form, and physiology // *Oecologia*. 113. 1998. – Pp. 299-313.
4. Ghannoum, O., Caemmerer, S. V., Ziska, L. H., Conroy, J. P. The growth responses of C<sub>4</sub> plants to rising atmospheric CO<sub>2</sub> partial pressure: a reassessment // *Plant, Cell and Environment*, 23. 2000. – Pp. 931-942.
5. Idso, C. D., Carter, R. M., Singer, S. F., Eds. *Climate change reconsidered: interim report of the nongovernmental panel on climate change (NIPCC)*, Chicago, IL: The Heartland Institute. 2011. – 415 p.
6. Idso, C. D., Idso, K. E. Forecasting world food supplies: the impact of rising atmospheric CO<sub>2</sub> concentration // *Technology* 7 (suppl). 2000. – Pp. 33-56.
7. Keenan, T. F., Hollinger, D. Y., Bohrer, G., et al. Increase in forest water-use efficiency as atmospheric carbon dioxide concentrations rise // *Nature*. V. 499. 2013. – Pp. 324–327.
8. Nakano, H., Makino, A., Mae, T. The effect of elevated partial pressures of CO<sub>2</sub> on the relationship between photosynthetic capacity and N Content in rice leaves // *Plant Physiology*, 1997. Vol.115, N.1. – Pp. 191-198.
9. Norby, R. J., Wullschleger, S. D., Gunderson, C. A., Johnson, D. W., Ceulemans, R. Tree responses to rising CO<sub>2</sub> in field experiments: implications for the future forest // *Plant, Cell and Environment*. 22. 1999. – Pp. 683-714.
10. Nowak, R. S., Ellsworth, D. S., Smith, S. D. Functional responses of plants to elevated atmospheric CO<sub>2</sub> - Do photosynthetic and productivity data from FACE experiments support early predictions? // *New Phytologist*. 162. 2004. – Pp. 253-280.
11. Schippers, P., Lüring, M., Dcheffer, M. Increase of atmospheric CO<sub>2</sub> promotes phytoplankton productivity // *Ecology Letters*. 7. 2004. – Pp. 446–451.

12. Seaquist, J. W., Hickler, T., Eklundh, L., Ardo, J., Heumann, B. W. Disentangling the effects of climate and people on Sahel vegetation dynamics // *Biogeosciences*, 6. 2009. – Pp. 469–477.
13. Taub, D. R. Effects of rising atmospheric concentrations of carbon dioxide on plants // *Nature Education Knowledge*. 2010, 3(10). – P. 21.
14. Wittwer, S. H. Flower power: rising carbon dioxide is great for Lants. *Policy Review* 1992. – Pp. 4-10.
15. <http://www.esrl.noaa.gov>
16. <http://www.membrana.ru/particle/3667>
17. <http://compulenta.computerra.ru/zemlya/klimatologiya/10007168>
18. [www.scepticalscience.com](http://www.scepticalscience.com)